ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ: ΤΜΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΑΙΩΝΑ ΜΕ ΜΗ ΕΠΕΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ»

ΝΙΚΗΦΟΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

"Εφαρμοσμένη Επιστήμη και Τεχνολογία στη Γεωπονία"

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2024

ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΕΛΕΝΗ ΚΟΚΚΙΝΟΥ
ΙΔΙΟΤΗΤΑ: ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

2. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΤΖΑΝΑΚΑΚΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΙΔΙΟΤΗΤΑ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

3. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΤΑΜΠΑΚΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ
ΙΔΙΟΤΗΤΑ: ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΟ ΕΡΓΟ ΑΥΤΟ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η φαντασία είναι πιο σημαντική από τη γνώση.
Albert Einstein (1879 – 1955)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε με την επιστημονική υποστήριξη του εργαστηρίου Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής. Αυτή τη στιγμή που το έργο έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Ελένη Κόκκινου για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετέχω στην εργαστηριακή ομάδα της και να προσπαθήσω να φέρω σε πέρας ένα, όπως αποδείχθηκε, δύσκολο έργο.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Βασίλειο Τζανακάκη, τον υποψήφιο διδάκτορα Δαυίδ Χατζηδαυίδ, καθώς και τους εργαζόμενους φοιτητές του εργαστηρίου εδαφολογίας για την πολύτιμη συμβολή τους στην παρούσα έρευνα.

Τέλος, αναμφίβολα πολλά ευχαριστώ αξίζουν η σύζυγός μου Δήμητρα Σηφάκη Πιστόλλα, που χωρίς την υποστήριξή της όλον αυτόν τον καιρό το έργο αυτό θα ήταν πολύ «βαρύτερο» στην ολοκλήρωσή του, καθώς και οι γονείς μου και η αδελφή μου για την απλόχερη βοήθεια που μου προσέφεραν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ 3

2.1 Γεωργια Ακριβειας - Εισαγωγη και εννοιες 3

2.2 Τηλεπισκοπηση στη Γεωργια Ακριβειας 4

2.2.1 Παγκοσμιο Συστημα Εντοπισμου (GPS) 5

2.2.2 Συστηματα Γεωγραφικων Πληροφοριων (GIS) 6

2.2.3 Αισθητηρες εδαφους 7

2.2.4 Δορυφοροι και συστηματα μη επανδρωμενων αεροχηματων 8

2.2.5 Εργαλεια μετρησης ηλεκτρομαγνητικης επαγωγης 10

2.3 Η Γεωργια Ακριβειας στην καλλιεργεια της ελιας 13

3 ΣΚΟΠΟΣ 16

3.1 Σκοπος της παρουσας ερευνας 16

3.2 Ερευνητικα ερωτηματα 16

3.3 Επιμερους στοχοι 16

4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ 18

4.1 Σχεδιασμος και τυπος μελετης 18

4.2 Περιοχη εξετασης 18

4.3 Εργαλεια 20

4.4 Μεθοδολογια ερευνας ηλεκτρομαγνητικων μετρησεων 21

4.5 Μεθοδολογια ερευνας εδαφολογικων αναλυσεων 22

4.6 Στατιστικη αναλυση 27

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 28

5.1 Επεξεργασια και Αποτελεσματα ηλεκτρομαγνητικων μετρησεων 28

5.2 Αποτελεσματα εδαφολογικων αναλυσεων 31

5.3 Αποτελεσματα στατιστικης αναλυσης 35

6 ΣΥΖΗΤΗΣΗ 38

6.1 Συνοψη κυριων ευρηματων 38

6.2 Συγκριση με αλλες μελετες 40

6.3 Περιορισμοι και δυνατα σημεια 41

6.4 Εφαρμογες και προεκτασεις 42

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 44

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 45

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ανασκόπηση των εφαρμογών και της καταλληλόλητας των διαφορετικών αισθητήρων των UAVs (Πηγή: Maes and Steppe, 2019) 9

Πίνακας 2: Χαρακτηρισμός εδάφους ως προς τα επίπεδα αλάτων ανάλογα με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Πηγή: USDA) 11

Πίνακας 3: Παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που λήφθηκε από τη μπλε ζώνη 32

Πίνακας 4: Παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που λήφθηκε από την κίτρινη ζώνη 33

Πίνακας 5: Παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που λήφθηκε από την κόκκινη ζώνη 34

Πίνακας 6: Σύγκριση τιμών των παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τις εδαφολογικές αναλύσεις μεταξύ των 3 ζωνών διαχείρισης 36

Πίνακας 7: Σύγκριση τιμών των παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τις εδαφολογικές αναλύσεις σε κάθε μια από τις 3 ζώνες διαχείρισης με τα κατώτατα όρια για την καλλιέργεια της ελιάς (Κεραμίδας, 1989). 37

Πίνακας 8: Συγκριτικός πίνακας των παραμέτρων του εδάφους ανά ζώνη διαχείρισης, καθώς και τα επιθυμητά όρια παρουσίας θρεπτικών συστατικών για την καλλιέργεια της ελιάς (Κεραμίδας, 1989). Οι τιμές που αναγράφονται είναι σε mg/kg εδάφους, εκτός από εκεί που υπάρχει ειδική σήμανση 39

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Χάρτης από Google Earth όπου φαίνεται η νήσος Κρήτη, με τοποθέτηση πινέζας στο χωριό Θραψανό Πεδιάδος, καθώς και μεγέθυνση του χάρτη όπου φαίνεται η δημοτική ενότητα του Θραψανού Πεδιάδος (πάνω δεξιά) 19

Εικόνα 2: Χάρτης από Google Maps όπου φαίνεται, με κίτρινη πινέζα, η θέση του ελαιώνα σε σχέση με το χωριό Θραψανό Πεδιάδος (στο βάθος πάνω δεξιά) 20

Εικόνα 3: Αριστερά: ο δειγματολήπτης εδάφους τύπου Edelman και δεξιά το φορητό ηλεκτρομαγνητικό όργανο Geophex GEM-2 20

Εικόνα 4: Η μετροταινία στο βόρειο κομμάτι του αγροτεμαχίου και η κάθετη ταινία που δίνει την ευθεία ανάμεσα σε δυο παράλληλες μετροταινίες ώστε ο χειριστής του GEM-2 να μπορεί να κινηθεί σε ευθεία γραμμή για να πραγματοποιήσει τη μέτρηση 22

Εικόνα 5: Συσκευή απόσταξης με υδρατμούς τύπου Kjeldahl (Πηγή: Kirk, 1950) 24

Εικόνα 6: Χάρτης κατανομής της αγωγιμότητας (mS/m) στον ελαιώνα με βάση τη μετρική απόσταση από το σημείο 0. Εντοπίζονται 3 ζώνες διαχείρισης 29

Εικόνα 7: Υπέρθεση του χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο υπόβαθρο του κτηματολογίου. Εντοπίζονται 3 ζώνες αγωγιμότητας 30

Εικόνα 8: Χάρτης κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (10^{-5} SI) στον ελαιώνα με βάση τη μετρική απόσταση από το σημείο 0. Εντοπίζονται 3 ζώνες διαχείρισης 30

Εικόνα 9: Υπέρθεση του χάρτη μαγνητικής επιδεκτικότητας στο υπόβαθρο του κτηματολογίου. Εντοπίζονται 3 ζώνες αγωγιμότητα 31

Εικόνα 10: Ισόπλευρο τρίγωνο κοκκομετρικής σύστασης για την κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες (Πηγή: Σινάνης, 2015) 35

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Σύντμηση	Πλήρες όνομα
ΓΑ	*Γεωργία Ακριβείας*
UAV	*Μη Επανδρωμένο Αερόχημα*
VRA	*Μεταβλητές Δόσεις Εφαρμογής*
GPS	*Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού*
GIS	*Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*
NIR	*Εγγύς Υπέρυθρο*
NDVI	*Δείκτης Βλάστης Ομαλοποιημένης Διαφοράς*
HME	*Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή*
EC	*Ηλεκτρική Αγωγιμότητα*
MSusc	*Μαγνητική Επιδεκτικότητα*
ECa	*Φαινομενική Ηλεκτρική Αγωγιμότητα*
μ.τ.	*Μέση Τιμή*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ελιά (*Olea europaea* L.) αποτελεί ένα από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα φυτικά είδη στον πλανήτη και σημαντικό κεφάλαιο της ιστορίας της χώρας μας, καθώς και βασική πηγή αγροτικού εισοδήματος. Η Γεωργίας Ακριβείας (ΓΑ) στηρίζει την εφαρμογή της στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης στα αγροτεμάχια. Ο στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η εφαρμογή των μεταβλητών δόσεων (VRA) κατά τις καλλιεργητικές επεμβάσεις. Η εφαρμογή και παρακολούθηση ενός ελαιώνα με τεχνικές ΓΑ μπορεί να μειώσει τη χρήση λιπασμάτων έως και 31%.

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η εφαρμογή μη επεμβατικών και μη καταστροφικών επίγειων μεθόδων προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη τμηματοποίηση του ελαιώνα.

Η παρούσα πειραματική μελέτη διεξήχθη στο διάστημα μεταξύ Απριλίου και Σεπτεμβρίου 2023 και χωρίστηκε σε δυο μέρη: α) τις επίγειες ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις εντός του αγροτεμαχίου και β) τη διεξαγωγή πληθώρας εδαφολογικών αναλύσεων με βάση διεθνώς αναγνωρισμένα πρωτόκολλα. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για τη συσχέτιση των διαφόρων παραμέτρων που μετρήθηκαν. Για τις επίγειες ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε το φορητό ηλεκτρομαγνητικό όργανο Geophex GEM-2.

Η μέτρηση της φαινόμενης (ή φαινομενικής) ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα 90 KHz έδωσε τρεις διαφορετικές ζώνες διαχείρισης: τη μπλε (20 mS/m – 38 mS/m), την κίτρινη (38,1 mS/m – 53 mS/m) και την κόκκινη (53,1 mS/m – 72 mS/m). Όσον αφορά στις εδαφολογικές μετρήσεις, οι περισσότεροι παράμετροι παρουσιάζουν μια ομοιομορφία μεταξύ των 3 ζωνών διαχείρισης εντός του ελαιώνα, με εξαίρεση το οργανικό άζωτο, το μαγνήσιο, τον ψευδάργυρο και τον χαλκό. Η σύγκριση των μετρούμενων τιμών μεταξύ των ζωνών διαχείρισης αλλά και μεταξύ των κατώτατων ορίων για την καλλιέργεια της ελιάς έδωσε πολλές στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις (Pvalue < 0,05).

Η μεθοδολογία τμηματοποίησης ελαιώνα που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια ένταξης τεχνικών ΓΑ στην ελαιοκαλλιέργεια του Θραψανού Πεδιάδος. Με βάση τη διαφοροποίηση κάποιων θρεπτικών συστατικών στο

έδαφος, δικαιολογείται η διαχείριση του παρόντος ελαιώνα τμηματικά. Η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων λίπανσης είναι πλέον εφικτή, καθώς και η μεταβλητή άρδευση.

Λέξεις κλειδιά: GEM-2, εδαφολογικές αναλύσεις, μεταβλητές δόσεις, ζωνοποίηση, ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

ABSTRACT

The olive tree (Olea europaea L.) is one of the oldest cultivated plant species on earth and an important chapter in the history of our country as well as a fundamental source of agricultural income. The basis of Precision Agriculture (PA) is the establishment of management zones on the plots of land to implement the application of variable rates (VRA) during cultivation. The application and monitoring of an olive grove using PA techniques can reduce fertiliser use by up to 31%.

The aim of this study was to apply non-invasive and non-destructive terrestrial methods to achieve an optimal segmentation of the olive grove.

The present experimental study was carried out between April and September 2023 and was divided into two parts: a) the electromagnetic soil survey within the plot and b) the performance of a variety of soil analyses based on internationally recognised protocols. In addition, a statistical analysis was carried out to correlate the various parameters measured. For the ground-based electromagnetic measurements, the portable electromagnetic device Geophex GEM-2 was used.

The measurement of the apparent electrical conductivity at 90 KHz revealed three different management zones: blue (20 mS/m – 38 mS/m), yellow (38.1 mS/m – 53 mS/m) and red (53.1 mS /m – 72 mS/m). As far as soil measurements are concerned, most parameters are consistent between the 3 management zones within the olive grove, with the exception of organic nitrogen, magnesium, zinc and copper. The comparison of the measured values between the management zones and between the fertilisation thresholds for olive cultivation revealed several statically significant differences (P-value < 0.05).

The olive grove segmentation methodology presented in this study is a first attempt to integrate PA techniques in olive cultivation in the Thrapsano area. Based on the differentiation of some nutrients in the soil, the management of this olive grove in management zones is justified. The application of variable fertilisation rates is now possible, as well as variable irrigation rates.

Keywords: GEM-2, soil analyses, variable application rates, management zones, electromagnetic induction

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

> Τίποτα σπουδαίο δεν έγινε ποτέ χωρίς να υπάρχουν γι' αυτό παράλογες προσδοκίες.
>
> Ιούλιος Βερν (1826 – 1905 μ.Χ.)

Η ελιά (*Olea europaea* L.) αποτελεί ένα από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα φυτικά είδη στον πλανήτη (Liphschitz et al., 1991) και αριθμεί πάνω από 30 διαφορετικά είδη (Συγγελάκης, 1982). Η παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου την ελαιοκομική σεζόν 2021-2022 ξεπέρασε τα 3.300.000 τόνους (IOC, 2023). Αποτελεί σημαντικό κεφάλαιο της ιστορίας της χώρας μας, καθώς και βασική πηγή αγροτικού εισοδήματος (Kostelenos and Kiritsakis, 2017).

Η Γεωργίας Ακριβείας (ΓΑ) στηρίζει τη λειτουργία της στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης στα αγροτεμάχια (Bongiovanni and Lowenberg-DeBoer, 2004). Για να επιτευχθεί η τμηματοποίηση ενός αγροτεμαχίου, πρέπει να αξιοποιηθούν πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται με τη χρήση διαφόρων μέσων, όπως είναι οι χάρτες παραγωγής, οι εδαφολογικές αναλύσεις, οι εικόνες που λαμβάνονται από αεροπλάνα ή από μη επανδρωμένα αεροχήματα (UAVs ή αλλιώς drones) καθώς και δορυφόρους, και τέλος, με τη χρήση μηχανημάτων άμεσης χαρτογράφησης των ιδιοτήτων του αγρού (Bongiovanni and Lowenberg-DeBoer, 2004; Maes and Steppe, 2019). Με αυτή τη διαδικασία γίνεται δυνατή η απεικόνιση και ο προσδιορισμός της παραλλακτικότητας ενός αγροτεμαχίου, η χαρτογράφησή του και ο χαρακτηρισμός του, με απώτερο σκοπό την βέλτιστη για αυτό διαχείριση (Bongiovanni and Lowenberg-DeBoer, 2004). Οι κυριότεροι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψιν για την ανάπτυξη των ζωνών διαχείρισης είναι: η διαδικασία αξιοποίησης των πληροφοριών που συλλέχθηκαν από το αγροτεμάχιο και ο αριθμός των ζωνών που θα χωριστεί το χωράφι. Οι ζώνες διαχείρισης θα πρέπει να μην μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, να είναι εύκολες στην οριοθέτησή τους, να συσχετίζονται με την παραγωγή και να έχουν χαμηλό κόστος δημιουργίας. Ο αριθμός τους εξαρτάται από το μέγεθος και την παραλλακτικότητα του αγροτεμαχίου, καθώς και τη δυνατότητα διαφοροποίησης των εισροών από την πλευρά του παραγωγού. Ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιείται μια

ζωνοποίηση σε ένα αγροτεμάχιο, είναι δυνατότητα εφαρμογής μεταβλητών δόσεων (VRA) κατά τις καλλιεργητικές επεμβάσεις (Rodrigues, 2022). Η εφαρμογή και παρακολούθηση ενός ελαιώνα με τεχνικές ΓΑ μπορεί να μειώσει τη χρήση λιπασμάτων έως και 31% (Roma et al., 2023).

Η τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τη γεωφυσική διασκόπηση αποτελούν ένα αποτελεσματικό συνδυασμό της ΓΑ καθώς η τεχνολογία των αισθητήρων εξελίσσεται ολοένα και περισσότερο και η αναγκαιότητα της εφαρμογής της γίνεται πλέον εμφανής (Sishodia, Ray and Singh, 2020).

Στόχος της παρούσας έρευνας είναι η εφαρμογή μη επεμβατικών και μη καταστροφικών μεθόδων προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη τμηματοποίηση ελαιώνα.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

> Είμαι του ήλιου θυγατέρα, η πιο απ' όλες χαϊδευτή. Χρόνια η αγάπη του πατέρα σ' αυτόν τον κόσμο με κρατεί. Όσο να πέσω νεκρωμένη, αυτόν το μάτι μου ζητεί. Ειμ' η ελιά η τιμημένη.
>
> Κωστής Παλαμάς. Η ελιά.

2.1 Γεωργία Ακριβείας - Εισαγωγή και έννοιες

Η ΓΑ είναι μια τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της κερδοφορίας με ταυτόχρονη μείωση των επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον. Βασική αρχή της είναι η χρήση πληροφοριών και εργαλείων λήψης αποφάσεων που βασίζονται στην επιστήμη για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της κερδοφορίας. Πολλοί παραγωγοί που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή βασίζονται σε δοκιμές *in situ* για να συντονίσουν όλες τις παραμέτρους (Bouma, 2007).

Για μια μερίδα κόσμου, η ΓΑ αφορά στη δειγματοληψία πλέγματος, στους χάρτες απόδοσης, στα UAVs, στους αισθητήρες και στην VRA, ενώ για άλλους αφορά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ανεξάρτητα από το πώς ορίζεται, η ΓΑ αλλάζει το παρασκήνιο της αγροτικής παραγωγής και παρέχει ευκαιρίες μείωσης των επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον. Σήμερα, οι επιπτώσεις της ΓΑ είναι ορατές σε όλο τον κόσμο. Για κάποιους, η ΓΑ χρησιμοποιεί τεχνολογίες που προέρχονται από την εποχή της πληροφορίας με σκοπό να δημιουργήσει συστάσεις προς τους παραγωγούς για συγκεκριμένα αγροτεμάχια που λαμβάνουν υπόψη τις φυσικές παραλλαγές και τις παραλλαγές που προκαλούνται από τη διαχείριση του αγροτεμαχίου, ενώ για άλλους επιτυγχάνει τους ίδιους στόχους χωρίς τη χρήση τεχνολογιών της εποχής της πληροφορίας. Ωστόσο, ανεξαρτήτου προσέγγισης, βασικός στόχος της ΓΑ είναι να βελτιστοποιήσει την παραγωγή αγαθών. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η ΓΑ σαν εργαλείο επ' ουδενί δεν αντικαθιστά τη γνώση και την εμπειρία του παραγωγού στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την καλλιέργεια (Kent Shannon, Clay and Sudduth, 2018).

Η ΓΑ ορίζεται συχνά από τις διάφορες τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται και

χρησιμοποιεί, όπως το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Global Positioning System, GPS), τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems, GIS), η αυτόματη πλοήγηση, οι απομακρυσμένοι αισθητήρες και η VRA λιπάσματος (Flores et al., 2016; Kingra, Majumder and Singh, 2016; Canales, 2018; Maes and Steppe, 2019). Όσο σημαντικές κι αν είναι αυτές οι τεχνολογίες, δεν πρέπει να λησμονείται το γεγονός ότι η ανθρώπινη διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι αναπόσπαστο κομμάτι για την επιτυχία της ΓΑ (Kent Shannon, Clay and Sudduth, 2018).

Η ΓΑ διακρίνεται από την παραδοσιακή γεωργία με τη διαχείριση τμημάτων ενός αγρού σε αντίθεση με ολόκληρο το χωράφι και, τελικά, τη χρήση μιας προσέγγισης βασισμένης σε συστήματα που θα βελτιστοποιήσουν τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Η χρήση της ΓΑ έχει τη δυνατότητα να μειώσει το κόστος, να αυξήσει τις αποδόσεις και να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, η επίτευξη αυτών των στόχων απαιτεί μια ουσιαστική επένδυση στην τεχνολογία και στη γνώση, που για κάποιους ίσως είναι απαγορευτικό. Η μετάβαση από τη συμβατική διαχείριση στη διαχείριση μέσω συστήματος ΓΑ θα πρέπει να πραγματοποιείται μόνο μετά από προσεκτικό προβληματισμό και σχεδιασμό (Strickland, Ess and Parsons, 1998).

2.2 Τηλεπισκόπηση στη Γεωργία Ακριβείας

Με τον όρο τηλεπισκόπηση, εννοείται η επιστήμη της εξ αποστάσεως παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών. Στη διεθνή βιβλιογραφία, συναντάται ως Remote Sensing, ενώ στα ελληνικά έχει επικρατήσει ο όρος τηλεπισκόπηση, έναντι άλλων όρων, όπως η τηλεανίχνευση (Campbell and Wynne, 2002). Τα συστήματα τηλεπισκόπησης, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών, συνήθως παράγουν μεγάλο όγκο φασματικών δεδομένων λόγω των υψηλών χωρικών/φασματικών/ραδιομετρικών/χρονικών αναλύσεων που απαιτούνται για την εφαρμογή τους στη ΓΑ (Huang et al., 2018). Ακολούθως, θα παρουσιαστούν ορισμένα ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα τηλεπισκόπησης.

2.2.1 Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS)

Η δημιουργία του GPS - ενός αστερισμού δορυφόρων που παρέχει πληροφορίες θέσης και χρονισμού - δεν μπορεί να περιοριστεί σε ένα όνομα, ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, ένα ίδρυμα ή μία χώρα. Η ιστορία του αποτελεί περίπλοκη υπόθεση, που ακόμη και οι πιο έμπειροι ιστορικοί της τεχνολογίας δυσκολεύονται να τη διατυπώσουν. Ο Αμερικανός συγγραφέας Paul Ceruzzi, σε πρόσφατο βιβλίο του, προσπαθεί να χωρίσει τα διάφορα σκέλη αυτής της ιστορίας, και επιχειρεί να εξηγήσει με ευφάνταστο τρόπο τη δημιουργία των συστημάτων αυτών (Canales, 2018).

Η πλήρης ονομασία του είναι Σύστημα Δορυφορικού Χρονισμού και Εμβέλειας Πλοήγησης Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης (Navigation Satellite Timing And Range Global Positioning System, NAVSTAR GPS). Το GPS είναι σε θέση να παρέχει εξαιρετικά ακριβή, τρισδιάστατα δεδομένα τοποθεσίας (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και υψόμετρο) σε όλο τον κόσμο, 24 ώρες το 24ωρο. Το σύστημα σχεδιάστηκε και διατηρείται από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ ως ένα ακριβές, παντός καιρού, σύστημα πλοήγησης. Αν και ο αρχικός του σχεδιασμός αφορούσε στις ανάγκες του στρατού, είναι πλέον ελεύθερα διαθέσιμο, με ορισμένους περιορισμούς, σε πολίτες για την εύρεση της θέσης τους. Το σύστημα έχει φτάσει στην πλήρη επιχειρησιακή ικανότητά του, καθώς χρησιμοποιεί ένα πλήρες σύνολο τουλάχιστον 24 δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη γη σε ένα προσεκτικά σχεδιασμένο μοτίβο (Gelian et al., 2012).

Οι κατασκευάστριες εταιρίες εξοπλισμού GPS έχουν να προσφέρουν μεγάλο αριθμό εργαλείων προς βοήθεια των αγροτών και των αγροτικών επιχειρήσεων, ώστε να γίνουν πιο παραγωγικοί και αποτελεσματικοί στις δραστηριότητες ΓΑ. Σήμερα, πολλοί παραγωγοί κατέχουν προϊόντα που κάνουν χρήση της τεχνολογίας GPS για να βελτιώσουν αρκετές λειτουργίες στις γεωργικές τους επιχειρήσεις. Οι πληροφορίες τοποθεσίας συλλέγονται από δέκτες GPS για τη χαρτογράφηση των ορίων των αγρών, των δρόμων, των συστημάτων άρδευσης και των προβληματικών περιοχών σε καλλιέργειες όπως τα ζιζάνια ή οι ασθένειες. Η ακρίβεια που προσφέρει η τεχνολογία GPS κάνει δυνατή τη δημιουργία χαρτών αγροκτημάτων με ακρίβεια στην έκταση της περιοχής του αγρού, τις τοποθεσίες δρόμων και αποστάσεις μεταξύ σημείων ενδιαφέροντος (Ping and Yelu, 2006). Τέλος, αποτελεί βασικό εργαλείο για τη λειτουργία των GIS, ένα σύστημα που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

2.2.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Τα GIS αποτελούν ένα πολύ ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση και ανάκτηση, μετατροπή και εμφάνιση των χωρικών δεδομένων για συγκεκριμένο σκοπό και κατά βούληση του χρήστη (Burrough, McDonnell and Lloyd, 2015). Η ικανότητα των GIS να αναλύουν και να απεικονίζουν τα γεωργικά περιβάλλοντα και τις ροές εργασίας με απλό, κατανοητό και γρήγορο τρόπο, έχει αποδειχθεί πολύ επωφελής για όσους εμπλέκονται στη γεωργία. Όπως ειπώθηκε και νωρίτερα, η εξισορρόπηση των εισροών και των εκροών σε μια εκμετάλλευση είναι θεμελιώδης για την επιτυχία και την κερδοφορία της, και φυσικά με απώτερο σκοπό να εξασφαλιστεί η αειφορία. Τα χωρικά δεδομένα παρουσιάζονται στρωματοποιημένα, και απεικονίζουν συνήθως τοπογραφικά και περιβαλλοντικά στοιχεία (Escobar et al., 2008).

Σήμερα, η τεχνολογία των GIS γίνεται ουσιαστικό εργαλείο για το συνδυασμό διαφόρων πληροφοριών από διαφορετικές πηγές, όπως χάρτες, δορυφόροι και UAVs και την προσομοίωσή τους σε μοντέλα που συνθέτουν και παρουσιάζουν τις αλληλεπιδράσεις πολύπλοκων φυσικών συστημάτων. Τα GIS δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την παραγωγή χαρτών, χρησιμεύουν και στην παραγωγή εικόνων (σταθερών αλλά και κινούμενων), σχεδίων και άλλων χαρτογραφικών προϊόντων (Escobar et al., 2008).

Από τις κινητές μονάδες χαρτογράφησης στο πεδίο μέχρι την επιστημονική ανάλυση των δεδομένων παραγωγής στο γραφείο από τον διαχειριστή της μονάδας, τα GIS διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στη γεωργία σε όλο τον κόσμο, συνδράμοντας τους παραγωγούς στο να αυξήσουν την παραγωγή τους, να μειώσουν το κόστος και να διαχειριστούν τη γη τους πιο αποτελεσματικά. Παρόλο που οι φυσικές εισροές στη γεωργία δεν μπορούν να ελεγχθούν, μπορούν όμως κατανοηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό και κατά συνέπεια, να διαχειριστούν με εφαρμογές των GIS, όπως οι εκτιμήσεις απόδοσης καλλιεργειών, οι αναλύσεις τροποποίησης του εδάφους και η αναγνώριση και αποκατάσταση της διάβρωσης. Εν τέλει, τα GIS είναι ένα πολύ-επίπεδο και θεματικό σύστημα που παρέχει την ευελιξία της επικάλυψης και αναθεώρησης διαφόρων δεικτών για μια πληθώρα ποικιλομορφιών στον αγρό. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται στο έπακρο στον προγραμματισμό και στη διαχείριση (Sood et al., 2015).

2.2.3 Αισθητήρες εδάφους

Οι ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών περιλαμβάνουν μια σειρά εδαφικών συνθηκών, συμπεριλαμβανομένων αερίων που υπάρχουν στο έδαφος, των θρεπτικών ουσιών, της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του pH και των διάφορων ρύπων (du Plessis, Workneh, and Laing, 2015; Rossel and Bouma, 2016). Η παρακολούθηση των συνθηκών δίνει τη δυνατότητα άντλησης βασικών πληροφοριών, όχι μόνο προς βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων για τη μεγιστοποίηση των γεωργικών εκροών και την ελαχιστοποίηση τυχόν παρενεργειών για το περιβάλλον, αλλά και για τη δημιουργία ειδικών βάσεων δεδομένων αναφορικά με την εκάστοτε περιοχή, που αφορούν στη σχέση μεταξύ των συνθηκών του εδάφους και της ανάπτυξης των φυτών για έξυπνα και βιώσιμα γεωργικά συστήματα (Rossel and Bouma, 2016).

Ο παραδοσιακός τρόπος καταγραφής και μέτρησης των ιδιοτήτων του εδάφους είναι με παραλαβή εδαφολογικού δείγματος, το οποίο υπόκειται σε πληθώρα εργαστηριακών αναλύσεων σε ειδικό εργαστήριο ή με επιτόπια μέτρηση για την παροχή εκτεταμένης γνώσης των παραμέτρων του εκάστοτε εδάφους (Rossel and Bouma, 2016). Η συνεχής έρευνα σε συνδυασμό με την πρόοδο της τεχνολογίας έχουν καταστήσει πλέον διαθέσιμα στο ευρύ κοινό, εργαλεία για τη συλλογή πληροφοριών απευθείας από το έδαφος. Με την ανάπτυξη των τεχνολογιών ανίχνευσης και ασύρματης επικοινωνίας, η απομακρυσμένη και in situ παρακολούθηση των φυσικοχημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους (π.χ. περιεκτικότητα σε υγρασία, αλατότητα, θερμοκρασία, επίπεδο pH, θρεπτικά συστατικά) είναι πλέον εφικτή. Ο λόγος γίνεται για τους αισθητήρες εδάφους, οι οποίο βασίζονται στη χωροχρονική καταγραφή και απευθείας ανάλυση των δεδομένων που λαμβάνουν και την παρουσίασή τους σε πραγματικό χρόνο στον παρατηρητή, Είναι αξιόπιστα εργαλεία που μπορούν εύκολα να ενταχθούν σε ένα σύστημα έξυπνο σύστημα παρακολούθησης καλλιέργειας ΓΑ (Yin et al., 2021).

Οι αισθητήρες εδάφους χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το ποια παράμετρο μετράνε. Παρακάτω αναφέρονται ονομαστικά οι κυριότερες κατηγορίες αισθητήρων εδάφους, βάση της καταγραφής των Yin et al. (2021).

- Αισθητήρες καταγραφής υγρασίας

- Αισθητήρες καταγραφής θερμοκρασίας
- Αισθητήρες μέτρησης pH
- Αισθητήρες μέτρησης θρεπτικών συστατικών (NPK)
- Αισθητήρες καταγραφής εντόμων/παράσιτων
- Αισθητήρες καταγραφής ρύπων (βαρέων μετάλλων, υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων, κ.λπ.)

2.2.4 Δορυφόροι και συστήματα μη επανδρωμένων αεροχημάτων

Η ανάπτυξη και η απότομη άνοδος των UAVs, ή αλλιώς drones, την τελευταία δεκαετία, σηματοδότησε μια νέα εποχή στην τηλεπισκόπηση, παρέχοντας δεδομένα άνευ προηγουμένου χωρικής, χρονικής και φασματικής ανάλυσης (Colomina and Molina, 2014). Φυσικά, οι δυνατότητες UVAs βρίσκουν πολλαπλές εφαρμογές και στη ΓΑ (Mazur et al., 2016; Singh and Frazier, 2018).

Όπως ειπώθηκε και στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας, η βάση της ΓΑ είναι η δημιουργία ζωνών διαχείρισης (Bongiovanni and Lowenberg-DeBoer, 2004), καθώς ένα αγροτεμάχιο δεν διαχειρίζεται πλέον σαν σύνολο, αλλά σε τμήματα. Τα UAVs είναι μοναδικά στο να προσφέρουν δεδομένα τηλεπισκόπησης υψηλής ποιότητας σε αυτήν την απαιτούμενη κλίμακα και χρόνο (Zhang and Kovacs, 2012). Η κυριότερη χρήση των UAVs στη ΓΑ είναι η αξιοποίηση της δυνατότητάς τους να φέρουν διαφόρων ειδών κάμερες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη φωτογραφιών. Από τα δεδομένα των φωτογραφιών μπορούν να κατασκευαστούν διάφοροι δείκτες βλάστησης, και από την αξιοποίηση των δεικτών αυτών μπορεί να επιτευχθεί η τμηματοποίηση ενός αγροτεμαχίου (Maes and Steppe, 2019). Φυσικά, αυτό απαιτεί το αγροτεμάχιο να έχει εγκατεστημένη ήδη κάποια καλλιέργεια, μιας και δεν μπορεί να παραχθεί δείκτης βλάστησης σε χέρσο αγροτεμάχιο.

Τέσσερα είδη αισθητήρων καλύπτουν σχεδόν όλες τις εφαρμογές στην τηλεπισκόπηση με τη χρήση UAVs στην έρευνα της ΓΑ (Πίνακας 1). Οι εμπορικές κάμερες RGB (κόκκινο-πράσινο-μπλε) είναι οικονομικές και έχουν υψηλή χωρική ανάλυση, αλλά σχετικά χαμηλή φασματική ανάλυση (Nijland et al., 2014). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό μιας σειράς δεικτών βλάστησης, καθώς και για τη δημιουργία ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων υψηλής ανάλυση και χαρτών ύψους

βλάστησης. Διατίθενται και τροποποιημένες κάμερες RGB, στις οποίες το φίλτρο του εγγύς υπέρυθρου (NIR) έχει αφαιρεθεί και αντικατασταθεί με ένα κόκκινο φίλτρο, καθιστώντας την πρώην κόκκινη ζώνη ευαίσθητη στο φάσμα του NIR (Nijland et al., 2014; Berra, Gaulton and Barr, 2017). Το δεύτερο είδος αισθητήρα που υπάρχει διαθέσιμο είναι οι πολυφασματικές κάμερες, οι οποίες έχουν καλύτερη φασματική ανάλυση και αποτελούνται από διαφορετικούς φακούς, με κάθε έναν από αυτούς να έχει ευαισθησία σε διαφορετική φασματική περιοχή. Το τρίτο είδος αφορά στις υπερφασματικές κάμερες, που καλύπτουν όλο το φάσμα (συνήθως) στην περιοχή των 400 nm – 1000 nm, σε σχετικά στενές ζώνες (συνήθως <10 nm) (Adão et al., 2017). Τέλος, οι θερμικές κάμερες είναι τυπικά χαμηλής ανάλυσης (μέγιστη ανάλυση 640 x 512 pixel ή 0,33 MP) με ένα μόνο εύρος ζώνης, στην περιοχή των υπέρυθρων μακρών κυμάτων (7 μm – 12 μm). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του θόλου (Shi et al., 2016; Yang et al., 2017).

Πίνακας 1: *Ανασκόπηση των εφαρμογών και της καταλληλόλητας των διαφορετικών αισθητήρων των UAVs (Πηγή: Maes and Steppe, 2019)*

Εφαρμογή		**Τύπος αισθητήρα/κάμερας**			
		RGB	**Πολυφασματική**	**Υπερφασματική**	**Θερμική**
Υδατικό στρες	Εντοπισμός στα αρχικά στάδια	-	-	I	A
	Μακροπρόθεσμες συνέπειες	-	A	A	I
Εντοπισμός παθογόνων	Εντοπισμός στα αρχικά στάδια	-	-	A	A
	Σοβαρότητα προσβολής	A	A	A	I
Εντοπισμός ζιζανίων	Φασματική διάκριση	-	I	A	-
	Βάσει αντικειμένου	A	A	-	-
Κατάσταση θρεπτικών συστατικών		I	A	A	I
Σθένος ανάπτυξης	Στάδιο ανάπτυξης	A	-	-	-
	Ύψος θόλου και βιομάζα	A	A	-	-
	Ξυλώδες	A	-	-	I
Πρόβλεψη απόδοσης		I	A	-	-

I: Ικανός για τη χρήση αυτή, A: Άριστος για τη χρήση αυτή

Εκτός από τα UAVs, μπορεί να γίνει χρήση φωτογραφιών που έχουν ληφθεί από

δορυφόρους για την κατασκευή δεικτών βλάστησης. Τα τελευταία 50 χρόνια ψηφιακής εξέλιξης, πολλοί δορυφόροι με πολυφασματικούς αισθητήρες έχουν εκτοξευθεί σε τροχιά γύρω από τη Γη με σκοπό την περιβαλλοντική και γεωργική τηλεπισκόπηση. Επί του παρόντος, ένα από τα πιο σχετικά προγράμματα παρατήρησης της Γης που επικεντρώνεται στην ανίχνευση και την αξιολόγηση της βλάστησης είναι το Copernicus. Το πρόγραμμα Copernicus, υπό την ηγεσία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος, είναι ένα πρόγραμμα που στοχεύει στην αύξηση των δυνατοτήτων της δορυφορικής παρατήρησης της Γης και στο πλαίσιο του οποίου εκτοξεύτηκαν οι δίδυμες πλατφόρμες Sentinel-2. Εκτός από το πολυφασματικό σύστημα Sentinel-2, διάφοροι δορυφόροι έχουν εκτοξευθεί ή σχεδιάζεται να εκτοξευθούν ως μέρος αυτού του συνεχιζόμενου προγράμματος. Όσον αφορά στις πιθανές γεωργικές εφαρμογές στο πλαίσιο του προγράμματος Copernicus, αξίζει να αναφερθεί το Sentinel-1 (https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1) που φέρει ραντάρ συνθετικού ανοίγματος επί της ατράκτου του, καθώς και το Sentinel-3 που παρέχει θερμικά δεδομένα σε 1 km χωρικής ανάλυσης (https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3) (Segarra et al., 2020).

Σε έρευνα των Bollas et al. (2021), έγινε σύγκριση των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες ενός UAV και του Sentinel-2, συγκριτικά και με το κόστος της κάθε μεθόδου. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο ότι και οι δυο μέθοδοι είναι αξιόπιστες, αν και διαφορετικές στην προσέγγισή τους, και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάλογα με τις ανάγκες που έχει να καλύψει.

2.2.5 Εργαλεία μέτρησης ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής

Η μέτρηση της εδαφικής αγωγιμότητας και υγρασίας αποτελεί μια πρόκληση στα πετρώδη εδάφη των παραδοσιακών ελαιώνων (όπως τα περισσότερα στην Κρήτη και στο δήμο Μινώα Πεδιάδος) όπου η λειτουργικότητα των κοινών αισθητήρων εδάφους συχνά διακυβεύεται και η λεπτή μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του εδάφους είναι πολύπλοκη ως αποτέλεσμα της παρουσίας και της ειδικής αρχιτεκτονικής του ριζικού συστήματος και του θόλου των δέντρων. Σε τέτοια περιβάλλοντα, οι μη επεμβατικοί αισθητήρες ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (ΗΜΕ) αποτελούν μια εναλλακτική λύση για την έμμεση μέτρηση της εδαφικής αγωγιμότητας και υγρασίας.

(Martinez et al., 2021).

Ως ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), ορίζεται «η ικανότητα ενός διαλύματος να άγει τον ηλεκτρισμό» και οι μονάδες μέτρησής της είναι το mmho/cm και τα παράγωγά του ή το dS/cm (deciSiemens) και τα παράγωγά του (Hanlon, 2025). Η κατηγοριοποίηση των εδαφών όσον αφορά στα επίπεδα αλατότητας βάσει της μέτρησης της EC παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: *Χαρακτηρισμός εδάφους ως προς τα επίπεδα αλάτων ανάλογα με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Πηγή: USDA)*

Επίπεδο αλατότητας	***Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm)***
Καθόλου	0 έως <2
Ελάχιστη	2 έως <4
Ελαφριά	4 έως <8
Μέτρια	8 έως <16
Έντονη	≥16

Η EC αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό ενός εδάφους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ταυτότητα (στοιχείο προσδιορισμού) για το εκάστοτε έδαφος, καθώς γνωρίζοντας την EC του εδάφους, είναι δυνατή η εκτίμηση διαφόρων άλλων παραμέτρων του εδάφους, όπως το πορώδες, η θερμοκρασία, η οργανική ουσία, το pH, η περιεκτικότητα σε νερό κ.α. Φυσικά, όλες οι παραπάνω παράμετροι έχουν αντίκτυπο στην παραγωγή, οπότε η EC μπορεί να θεωρηθεί ως ένας έμμεσος δείκτης παραγωγικότητας (Φουντάς & Γέμτος, 2016).

Αν και η EC μπορεί να δώσει μια ένδειξη για το σύνολο των αλάτων που υπάρχουν σε ένα έδαφος, δεν δίνει όμως στοιχεία για το είδος των χημικών στοιχείων που τα απαρτίζουν. Σε μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί, η EC παρουσιάζει καλή θετική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις φωσφόρου και ασβεστίου (R^2 = 0,67 και 0,43 αντίστοιχα), ενώ με το άζωτο και το κάλιο δεν συμβαίνει το ίδιο (R^2 < 30). Την ισχυρότερη συσχέτιση παρουσιάζουν τα ιχνοστοιχεία Zn, Fe, Mn και Cu (R^2 από 0,79 έως 0,96) (Sudduth et al., 2005; Li et al., 2007; Ahire et al., 2013).

Δυο είναι οι μέθοδοι μέτρησης της EC στο έδαφος, με επαφή και χωρίς. Στην παρούσα ερευνητική εργασία, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ανέπαφης μέτρησης, και αυτή θα αναλυθεί ακολούθως. Η ανέπαφη μέτρηση της EC βασίζεται στην αρχή της ΗΜΕ. Μια συσκευή που πραγματοποιεί μετρήσεις με τέτοιο τρόπο, έχει στη μια της άκρη τοποθετημένο έναν πομπό που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό σήμα και στην άλλη

άκρη το δέκτη που καταγράφει την εδαφική απόκριση ανάλογα με την ικανότητα του εδάφους να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Ο πομπός και ο δέκτης της συσκευής περιβάλλονται από μεταλλικό πλαίσιο που συμβάλει στην καλύτερη μετάδοση του σήματος (Grisso et al., 2009). Υπάρχουν διάφορα συστήματα μέτρησης της EC και της MSusc ανέπαφα, όπως τα διάφορα μοντέλα της εταιρείας Dualem (Dualem-1, Dualem-1H, Dualem-2, Dualem-21, κ.λπ.) (https://dualem.com/products/#2S), το EM38-MK2 της εταιρείας Geonics Limited (https://www.geonics.com/html/em38.html) και το GEM-2 της εταιρείας Geophex (http://geophex.com/Product_GEM2_handheld.htm), το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα έρευνα.

Το EM38-MK2 της εταιρείας Geonics Limited παρέχει μέτρηση τόσο της EC, όσο και της MSusc σε δύο διακριτές περιοχές βάθους, όλα ταυτόχρονα, χωρίς καμία απαίτηση για επαφή του εδάφους με το όργανο. Με μέγιστο αποτελεσματικό βάθος μέτρησης το 1,5 m, οι εφαρμογές στη γεωργία, την αρχαιολογία και τις γενικές επιστήμες του εδάφους είναι κοινές (EM38-MK2 Specifications). Το μοντέλο 21 της εταιρείας Dualem απαιτεί να ενσωματωθεί σε γεωργικό ελκυστήρα ή άλλο τροχήλατο όχημα τύπου all-terrain και έχει ίδιο τρόπο χρήσης με το EM38-MK2 (Dualem Specifications).

Το GEM-2 της εταιρείας Geophex είναι ένα φορητό εργαλείο μέτρησης HME που μπορεί να σκανάρει ένα έδαφος σε βάθος έως 10 μέτρα και μέχρι 10 διαφορετικές συχνότητες ταυτόχρονα (από 25 Hz έως 96 kHz). Οι δυνατότητές του το καθιστούν ικανό να μιμηθεί τον τρόπο λειτουργείας άλλων οργάνων, γλιτώνοντας τον χρήστη από την ανάγκη αγοράς διαφορετικών εργαλείων. Συνοδεύεται από λογισμικό λειτουργίας, συνδέεται με κινητό android και κεραία GPS για χωροθέτηση σε πραγματικό χρόνο. Ενδείκνυνται, μεταξύ άλλων, και για εφαρμογές στη ΓΑ (GEM-2 Specifications). Με το GEM-2 μπορούν να προσδιοριστούν η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECa) του εδάφους και η μαγνητική επιδεκτικότητα του εδάφους. Ο όρος ECa του εδάφους αναφέρεται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα της μάζας του εδάφους, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί κλινικά (στον αγρό) (Rhoades et al., 1999). Οι παράγοντες που έχουν επιρροή στην ECa του εδάφους είναι το νερό, η περιεκτικότητα (δομή) του εδάφους, οι ηλεκτρολύτες στο νερό του εδάφους (ανταλλάξιμα ιόντα, εδαφική θερμοκρασία, αλατότητα) και η συσσωμάτωση του εδάφους (συγκολλητικοί παράγοντες όπως η οργανική ουσία και η άργιλος) (Hartsock et al., 2000). Επίσης, σύμφωνα με την

φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα για τη σύσταση του εδάφους, δηλαδή αν είναι βαρύ ή ελαφρύ. Βαρύ έδαφος χαρακτηρίζεται ένα έδαφος που κατακρατάει μεγάλη ποσότητα υγρασίας, γεγονός το οποίο οφείλεται κατά κύριο λόγο στην περιεκτικότητά του σε άργιλο, που είναι πάνω από 20-30%. Στα βαριά εδάφη, η ανάπτυξη των ριζών είναι δυσκολότερη από ότι στα ελαφριά και τα δένδρα εμφανίζουν ευκολότερα σημάδια ασθένειας. Ελαφρύ έδαφος, ονομάζεται το έδαφος το οποίο δεν κατακρατάει μεγάλη ποσότητα υγρασίας, συγκρατεί λιγότερο νερό και θρεπτικά στοιχεία από ότι το βαρύ, γεγονός το οποίο οφείλεται κατά κύριο λόγο στη σύστασή του, που είναι πάνω από 40-50% άμμος και κάτω από 20% άργιλος. Η ανάπτυξη των ριζών ευνοείται στα ελαφριά εδάφη και οι ασθένειες σπανίζουν.

Μια επιπλέον παράμετρος του εδάφους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη χαρτογράφησή του, είναι η μαγνητική επιδεκτικότητα (Magnetic Susceptibility, MSusc). Η MSusc παρέχει πληροφορίες για την ικανότητα ενός υλικού να μπορεί να μαγνητίζεται. Η ιδιότητα αυτή στην ουσία ποσοτικοποιεί την αντίδραση που έχει το υλικό αυτό σε ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο. Στη ΓΑ, η παράμετρος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό του ποσοστού βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Zn, Mn, Co, Mo κ.λπ.) (Dalan, 2006).

2.3 Η Γεωργία Ακριβείας στην καλλιέργεια της ελιάς

Τα οφέλη εφαρμογής τεχνικών ΓΑ σε διάφορες καλλιέργειες είναι εμφανή μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας, σε περιβαλλοντικό, οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο (Robertson, Carberry and Brennan, 2007; Sangeetha et al., 2013; Markoski et al., 2015; Ncube, Mupangwa and French, 2018; Abdulwaheed, 2019; Koutsos and Menexes, 2019; DeLay, Thompson, and Mintert, 2022). Παρακάτω θα παρατεθούν επιλεγμένες έρευνες που αφορούν στον τομέα της ελαιοκαλλιέργειας.

Αρχικά, τεχνικές ΓΑ στην ελιά χρησιμοποιούνται όχι μόνο για VRA, αλλά και για τον εντοπισμό και την καταμέτρηση δένδρων, για τη διαχείριση του κλαδέματος, για τον υπολογισμό της αναμενόμενης απόδοσης παραγωγής, για την παρακολούθηση του φαινοτύπου και των βιοφυσικών παραμέτρων των δένδρων και τέλος, για τον εντοπισμό και τη διαχείριση ασθενειών και παρασίτων (Messina and Modica, 2022).

Οι Van Evert et al. (2017) εξέτασαν τα οφέλη της εφαρμογής τεχνικών ΓΑ στην καλλιέργεια της ελιάς και της πατάτας, από την οπτική γωνία της κερδοφορίας και της βιωσιμότητας. Τα αποτελέσματά έδειξαν ότι η εφαρμογή ΓΑ, και συγκεκριμένα η VRA στην πατάτα αύξησε την κερδοφορία έως και 21% και το κοινωνικό όφελος κατά 26%. Η VRA στην λίπανση φωσφόρου και καλίου στην ελιά ναι μεν μείωσε αισθητά την ποσότητα εφαρμογής των συγκεκριμένων λιπασμάτων, το οικονομικό και κοινωνικό όφελος όμως σαν σύνολο ήταν μικρό, αύξησε όμως τη συνολική βιωσιμότητα της καλλιέργειας.

Οι Sarabia et al. (2020) πρότειναν μια μεθοδολογία για την αυτόματη καταμέτρηση των ελαιόδεντρων σε εντατικούς ελαιώνες από πολυφασματικές εικόνες που ελήφθησαν από UAVs και εκμεταλλεύονται πληροφορίες ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας. Οι πολυφασματικές εικόνες υποβλήθηκαν σε επεξεργασία για να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας, το οποίο μετατράπηκε σε εικόνα με αποχρώσεις του γκρι (grayscale), όπου οι πληροφορίες υψομέτρου προσεγγίστηκαν ως τιμές γκρι επιπέδου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτή η μέθοδος εντόπισε σωστά τα ελαιόδεντρα με ακρίβεια περίπου 99%. Η μεθοδολογία δοκιμάστηκε σε εντατικό ελαιώνα περίπου έκτασης 18 εκταρίων.

Μια μεθοδολογία πρόβλεψης της απόδοσης παραγωγής σε βάθος δεκαετίας αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε το 2012 από τους Maselli et al., η οποία βασίστηκε στην τηλεπισκόπηση και στη συλλογή επικουρικών δεδομένων. Η έρευνα έλαβε χώρα στην επαρχία της Τοσκάνης στην Ιταλία και είχε διάρκεια 10 έτη (2000 – 2009). Συγκεκριμένα, εικόνες που πάρθηκαν από δορυφόρους χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του δείκτη βλάστησης ομαλοποιημένης διαφοράς (NDVI), ενώ παράλληλα αξιοποιήθηκαν διάφορα δεδομένα, όπως η ημερήσια θερμοκρασία, το επίπεδο των κατακρημνίσεων, η γεωγραφική διασπορά των ελαιώνων, εδαφικά δεδομένα και ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Τα δεδομένα συνδυάστηκαν σε ένα τροποποιημένο παραμετρικό μοντέλο (C-Fix) (Veroustraete, Sabbe and Eerens, 2002) που προέβλεπε την ημερήσια ακαθάριστη πρωτογενή παραγωγή καρπού. Το αποτέλεσμα αυτό, στη συνέχεια συνδυάστηκε με τις εκτιμήσεις εξατμισοδιαπνοής που πάρθηκαν από ένα βιογεωχημικό μοντέλο (BIOME-BGC) (Running and Hunt, 1993), ώστε να εξομοιωθεί η καθαρή πρωτογενής παραγωγή, που στη συνέχεια μετατράπηκε σε απόδοση.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι συλλογής φαινοτυπικών δεδομένων είναι χρονοβόρες

και χρειάζονται πολυετή εμπειρία (Yang et al., 2017; Caruso et al., 2021; Gómez-Gálvez et al., 2021). Οι Gómez-Gálvez et al. (2021) χρησιμοποίησαν φωτογραφίες από UAVs για τον υπολογισμό διαφορών παραμέτρων του θόλου των δένδρων (ακτίνα μήκους κόμης, ακτίνα πλάτους κόμης, ακτίνα ύψους κόμης και ύψος δέδρου). Οι Avola et al. (2019) μπόρεσαν να διακρίνουν τις διαφορετικές ποικιλίες ελιάς σε έναν ελαιώνα, ακόμα και να προσδιορίσουν την ηλικία των δένδρων, μέσω της χρήσης δεικτών βλάστησης. Οι Torres-Sánchez et al. (2022) μπόρεσαν να εντοπίσουν τον νανισμό σε ελιές ποικιλίας Picual με τη χρήση φωτογραμμετρίας από UAV.

Η δυνατότητα εντοπισμού ασθενειών και παρασίτων στα δένδρα ενός ελαιώνα είναι πολύ σημαντική. Αυτό είναι εφικτό να γίνει και με τεχνικές ΓΑ. Για παράδειγμα, μπορεί να γίνει πρόωρη διάγνωση συμπτωμάτων της βερτισιλίωσης της ελιάς, που προκαλείται από τον παθογόνο μύκητα *Verticillium dahliae,* με τη χρήση δεικτών βλάστησης που κατασκευάζονται από πολυφασματικές και υπερφασματικές φωτογραφίες (λήψη με τη χρήση UAV), καθώς και με τη χρήση θερμικής απεικόνισης. Στην ουσία, παρατηρείται ότι η στοματική αγωγιμότητα είναι χαμηλότερη και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του θόλου είναι υψηλότερες καθώς αυξάνεται το επίπεδο σοβαρότητας της ασθένειας (Calderón et al., 2013). Παρόμοια χρήση δεικτών βλάστησης και θερμικής απεικόνισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό προσβολής από το παθογόνο βακτήριο *Xylella fastidiosa* (Zarco-Tejada et al., 2019).

Όσον αφορά στα φυλλοφάγα παράσιτα, το σημαντικότερο παράσιτο για την καλλιέργεια της ελιάς, είναι ο δάκος της ελιάς (*Bactrocera oleae*). Η παρακολούθησή του σε έναν ελαιώνα, μπορεί να επιτευχθεί και με τη χρήση της τηλεπισκόπησης, εκτός από την παρακολούθηση μέσω μαζικής παγίδευσης. Οι Blum et al. (2015) μπόρεσαν να φτιάξουν ένα μοντέλο ανάπτυξης του *B. oleae,* με τη χρήση δεδομένων 11 ετών. Το μοντέλο βασίστηκε στη μέτρηση της θερμοκρασίας του θόλου των δένδρων, μιας και είναι ο βασικός παράγοντας εκκόλαψης του αυγού του *B. Oleae* και της περαιτέρω ανάπτυξης της προνύμφης (Gucci et al., 2012).

3 ΣΚΟΠΟΣ

> Τη στιγμή που θα δώσεις ιδιαίτερη προσοχή σε οτιδήποτε, ακόμη και ένα πράσινο φύλλο, γίνεται ένας μυστηριώδης, τρομακτικός, απίστευτα υπέροχος κόσμος.
>
> Χένρυ Μίλλερ (1891 – 1980 μ.Χ.)

3.1 Σκοπός της παρούσας έρευνας

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η εφαρμογή μη επεμβατικών και μη καταστροφικών επίγειων μεθόδων προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη τμηματοποίηση του ελαιώνα.

3.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Στα πλαίσια της ανάπτυξης της μεθοδολογίας της παρούσας έρευνας, τέθηκαν τα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

- Υπάρχει παραλλακτικότητα στο έδαφος ενός ελαιώνα μικρής έκτασης, και αν ναι, είναι εντοπίσιμη με επίγεια εργαλεία που έχουν μικρό κόστος αγοράς;
- Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν με τη χρήση των εργαλείων αυτών, μπορούν να επαληθευθούν στο εργαστήριο;
- Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν, μπορούν αξιοποιηθούν με απώτερο σκοπό τη μείωση των εισροών από την πλευρά του παραγωγού;

3.3 Επιμέρους στόχοι

Ο συνδυασμός των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν στην τμηματοποίηση του ελαιώνα βοήθησαν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με την ποιότητα των δεδομένων, αλλά και με την οικονομική αξιοποίησή τους. Ανάμεσα στους στόχους της ΓΑ είναι η αύξηση της αποδοτικότητας των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Αυτό συνεπάγεται αύξηση της απόδοσής τους με παράλληλο εξορθολογισμό των

αγροχημικών εισροών, οδηγώντας στη μείωση του κόστους παραγωγής αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος. Η επίτευξη αυτού γίνεται με τη χωρική και χρονική διαχείριση της παραλλακτικότητας του ελαιώνα, μέσω της επεξεργασίας καθορισμένων πληροφοριών που συλλέγονται από διάφορες πηγές.

4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δως μοι πα στω και ταν γαν κινάσω (Δως' μου κάπου να στηριχτώ και θα κινήσω τη γη).

Αρχιμήδης (287 – 212 π.Χ.)

4.1 Σχεδιασμός και τύπος μελέτης

Η παρούσα πειραματική μελέτη διεξήχθη στο διάστημα μεταξύ Απριλίου και Σεπτεμβρίου 2023 και χωρίστηκε σε δυο μέρη: α) τις επίγειες ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις εντός του αγροτεμαχίου και β) τη διεξαγωγή πληθώρας εδαφολογικών αναλύσεων (θα αναφερθούν αναλυτικά παρακάτω) για τον προσδιορισμό διαφόρων παραγόντων προς επιβεβαίωση των ευρημάτων της επίγειας μέτρησης. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για τη συσχέτιση των διαφόρων παραμέτρων που μετρήθηκαν.

4.2 Περιοχή εξέτασης

Ο ελαιώνας που χρησιμοποιήθηκε για όλες τις μετρήσεις, βρίσκεται στα περίχωρα του χωριού Θραψανό Πεδιάδος του Νομού Ηρακλείου (Εικ. 1), με συντεταγμένες θέσης 35°10'58»N 25°16'17»E, σε υψόμετρο 380 m και συνολικής έκτασης 6 στρεμμάτων. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία στο νομό είναι 18,9^{o}C, με τη μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία να σημειώνεται τον μήνα Ιούλιο (28,9^{o}C) και την ελάχιστη τον μήνα Φεβρουάριο (8,9^{o}C). Το μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης είναι 40 mm. Τα παραπάνω δεδομένα λήφθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και αφορούν στα έτη 1955-2010. Στην περιοχή του Θραψανού, η εταιρεία Gaia Επιχειρείν διατηρεί μετεωρολογικό σταθμό. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του, το ύψος βροχόπτωσης για την περίοδο 1/1/2023 – 30/6/2023 ήταν 333,3 mm. Το κλίμα της περιοχής βάσει ταξινόμησης Köppen είναι υποτροπικό - μεσογειακό με θερμό καλοκαίρι (Csa). Το αγροτεμάχιο στο οποίο έλαβαν χώρα οι μετρήσεις έχει εμβαδόν 2.250 m^2 (Εικ. 2).

Τα δέντρα ανήκουν στην ποικιλία κορωνέικη και φυτεύτηκαν το 1998 με αποστάσεις φύτευσης 7 m επί 6 m, που αντιστοιχεί σε μέση πυκνότητα δέντρων περίπου 200 ανά εκτάριο. Η καλλιέργεια είναι βιολογική απαρχής της και η εξόντωση των ζιζανίων γίνεται με μηχανική καταστροφή. Το χωράφι καλλιεργείται τακτικά και μέχρι το 2022 ήταν ποτιστικό. Το 2023 δεν αρδεύτηκε καθόλου. Ο ελαιώνας στη βορειοανατολική του πλευρά φιλοξενεί πρανές ύψους 1,9 m, Για το λόγο αυτό το μετρούμενο αγροτεμάχιο εκτείνεται σε 2 υψομετρικά επίπεδα. Το έδαφος είναι πετρώδες.



Εικόνα 1: *Χάρτης από Google Earth όπου φαίνεται η νήσος Κρήτη, με τοποθέτηση πινέζας στο χωριό Θραψανό Πεδιάδος, καθώς και μεγέθυνση του χάρτη όπου φαίνεται η δημοτική ενότητα του Θραψανού Πεδιάδος (πάνω δεξιά)*



Εικόνα 2: *Χάρτης από Google Maps όπου φαίνεται, με κίτρινη πινέζα, η θέση του ελαιώνα σε σχέση με το χωριό Θραψανό Πεδιάδος (στο βάθος πάνω δεξιά)*

4.3 Εργαλεία

Για τις επίγειες ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε το φορητό ηλεκτρομαγνητικό όργανο Geophex GEM-2 (Geophex, Raleigh NC, USA) (Εικ. 3).. Για τη δειγματοληψία εδάφους χρησιμοποιήθηκε δειγματολήπτης τύπου Edelman (Εικ. 3), ενώ για τις εδαφολογικές μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του εργαστηρίου εδαφολογίας του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.). Για τη λήψη των συντεταγμένων GPS σε ΕΓΣΑ87 χρησιμοποιήθηκε η κεραία Trimble Zephyr 3 GIS (Trimble Inc., Westminster, Colorado, USA).



Εικόνα 3: *Αριστερά: ο δειγματολήπτης εδάφους τύπου Edelman και δεξιά το φορητό ηλεκτρομαγνητικό όργανο Geophex GEM-2*

4.4 Μεθοδολογία έρευνας ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων

Οι επίγειες μέθοδοι που εφαρμόστηκαν, βασίστηκαν στη χαρτογράφηση της EC και της μαγνητικής επιδεκτικότητας (MSusc) στο επιλεγμένο αγροτεμάχιο. Η EC του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητα μεταφοράς ενός ηλεκτρικού φορτίου εντός του. Η μέτρηση της ECa του εδάφους θεωρείται η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τη μελέτη της παραλλακτικότητάς του, εξαιτίας της εύκολης εφαρμογής, του χαμηλού κόστους εφαρμογής και της αξιοπιστίας της. Στη ΓΑ, η εδαφική EC χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ομοιόμορφων ζωνών διαχείρισης. Την επηρεάζουν πολλοί παράγοντες, όπως η εδαφική θερμοκρασία, η μηχανική σύστασή του, η συμπίεσή του, η περιεκτικότητά του σε νερό, η αλατότητά του και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η MSusc του εδαφικού υλικού είναι η ικανότητα να μαγνητίζεται στην παρουσία εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου. Οι ποσοτικές μετρήσεις της MSusc δίνουν στοιχεία για τη δομή ενός υλικού, δίνοντας εικόνες για τους δεσμούς και τα ενεργειακά επίπεδα.

Βάση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών, επιλέχτηκε ένα σημείο εκκίνησης στον ελαιώνα, το σημείο 0 με συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 x = 615627,558 y = 3893777,241, στο οποίο τοποθετήθηκε ένας πάσσαλος. Έπειτα, και με κατεύθυνση βορειοανατολικά, τραβήχτηκε μετροταινία 50 m έως τα όρια του ελαιώνα (45 m από τον πρώτο πάσσαλο), όπου τοποθετήθηκε ο δεύτερος πάσσαλος (x = 615660,196 y = 3893805,7). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για τον τρίτο πάσσαλο (x = 615692,971 y = 3893768,01), ο οποίος τοποθετήθηκε σε απόσταση 50m ανατολικά του δεύτερου. Τέλος, ο τέταρτος πάσσαλος (x = 615659,508 y = 3893739,252) τοποθετήθηκε σε απόσταση 45 m νότια του τρίτου, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, το οποίο αποτέλεσε και το μετρούμενο κομμάτι του ελαιώνα.

Η ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση έγινε με ευθεία κίνηση του GEM-2 από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά και κινούμενο παράλληλα προς τη νοητή ευθεία που σχηματίζουν οι πάσσαλοι 1 και 2 (Εικ. 4). Το βήμα μέτρησης ήταν 1 m. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 24.783 μετρήσεις. Η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της μαγνητικής επιδεκτικότητας του εδάφους στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε στα 90.000 Hz, που αντιστοιχεί σε βάθος υποστρώματος 1-1,5m. Η επίγεια ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση έλαβε χώρα στα μέσα Απριλίου και ενώ το έδαφος ήταν σε κορεσμό.



Εικόνα 4: *Η μετροταινία στο βόρειο κομμάτι του αγροτεμαχίου και η κάθετη ταινία που δίνει την ευθεία ανάμεσα σε δυο παράλληλες μετροταινίες ώστε ο χειριστής του GEM-2 να μπορεί να κινηθεί σε ευθεία γραμμή για να πραγματοποιήσει τη μέτρηση*

4.5 Μεθοδολογία έρευνας εδαφολογικών αναλύσεων

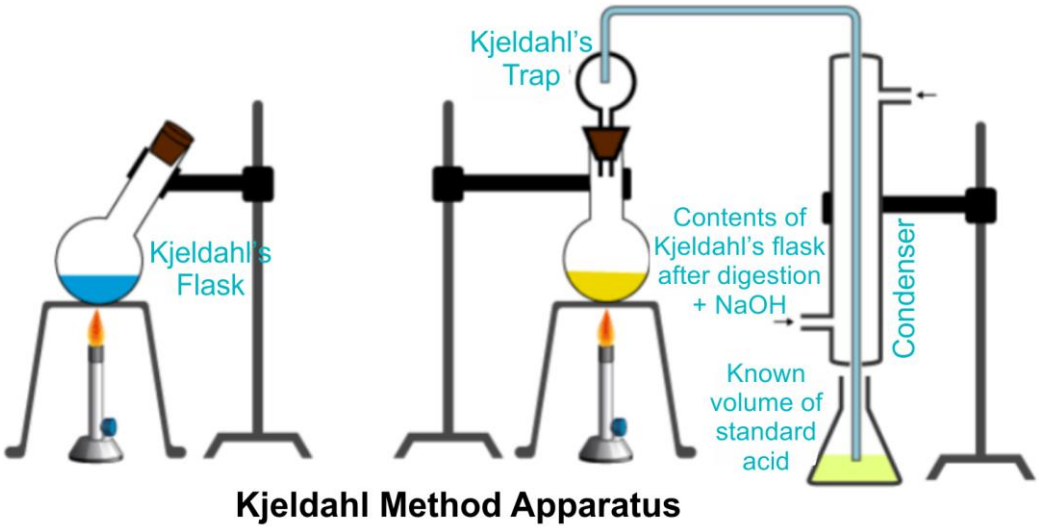
Για τις ανάγκες επιβεβαίωσης της ζωνοποίησης που υλοποιήθηκε με βάση την ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση , καθώς και για την ορθότερη αξιολόγηση και διαχείριση αυτών, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά εργαστηριακών μετρήσεων στο εργαστήριο εδαφολογίας του ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ. Το δείγμα εδάφους πάρθηκε από βάθος 0 cm-30 cm και ήταν αντιπροσωπευτικό για κάθε ζώνη διαχείρισης. Συνολικά, από κάθε ζώνη πάρθηκαν 10 δείγματα. Η συλλογή έγινε αρχές Ιουνίου, σε κορεσμένο έδαφος. Τα δείγματα από κάθε ζώνη ανακατεύθηκαν ώστε να ομογενοποιηθούν, ξηράθηκαν με τη βοήθεια του αέρα και στη συνέχεια, το χώμα πέρασε από μπρούτζινο κόσκινο 2 mm. Στη συνέχεια, τα κοσκινισμένα δείγματα από κάθε ζώνη φυλάχθηκαν σε ξεχωριστό δοχείο από τα υπολείμματα χώματος και κρατήθηκαν για περαιτέρω μετρήσεις.

Έγινε επιλογή μέτρησης διαφόρων παραμέτρων, κρίσιμων για την

ελαιοκαλλιέργεια. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αντλήθηκε από τη διεθνή βιβλιογραφία. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν και τα πρωτόκολλα που ακολουθήθηκαν ήταν ως ακολούθως:

- Για τη μέτρηση του pH και της EC, σε ένα σωλήνα με καπάκι ζυγίστηκαν 10 g εδάφους και προστέθηκαν 20 mL απιονισμένο νερό. Το διάλυμα αναδεύτηκε σε ειδικό μηχάνημα για 20 λεπτά. Αφού το διάλυμα έμεινε σε αδράνεια για 5 λεπτά, πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του pH με ηλεκτρονικό βαθμονομημένο πεχάμετρο και της EC με ηλεκτρονικό βαθμονομημένο αγωγιμόμετρο (σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία).
- Η μηχανική σύσταση υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Bouyoukos (Bouyoucos, 1962). Συγκεκριμένα, 50 g εδάφους από κάθε ζώνη τοποθετήθηκαν σε ένα ποτήρι ζέσεως με προσθήκη 100 ml $Na(PO_3)_6$ και αφέθηκαν σε αδράνεια για 24 ώρες. Ύστερη από την παραμονή, το αιώρημα μεταφέρθηκε σε ποτήρι μίξερ με ταυτόχρονη προσθήκη 200 ml απιονισμένου νερού και αναδεύτηκε για 3 λεπτά. Έπειτα, το αιώρημα μεταφέρεται σε κύλινδρο κοκκομετρικής αναλύσεως και συμπληρώνεται ο όγκος μέχρι 1 L με απιονισμένο νερό. Ταυτόχρονα, παρασκευάζεται και τυφλό δείγμα που περιέχει 100 ml $Na(PO_3)_6$ και συμπλήρωμα μέχρι 1 L με απιονισμένο νερό. Όλοι οι κύλινδροι αναδεύονται ώστε τα υλικά να ομογενοποιηθούν. Τέλος, με τη βοήθεια πυκνομέτρου, λαμβάνονται οι μετρήσεις στα 40 sec και στις 2 h, όπως περιγράφεται στη μεθοδολογία του Bouyoucos (1962).
- Το οργανικό άζωτο προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (Total Kjeldahl Nitrogen) (Bremmer and Mulvaney, 1983). Σε μια κωνική φιάλη Kjeldahl των 75 mL ζυγίζονται 1000 mg εδάφους και προστίθεται 1 mL διαλύματος $KMnO_4$ (25 g $KMnO_4$ διαλυμένα σε 500 mL νερού). Η φιάλη ανακατεύτηκε για 30 s. Ύστερα, κρατώντας τη φιάλη υπό γωνία, προστέθηκαν με αργό ρυθμό και με τη βοήθεια πιπέτας 2 mL διαλύματος H_2SO_4 (διάλυση σε νερό 500:500) στο πλάι της φιάλης, ενώ βρισκόταν σε συνεχή ανάδευση. Το δείγμα αφέθηκε να κρυώσει για 5 λεπτά. Μέσω ξηρής χοάνης με στέλεχος που φτάνει στην κοιλιά της φιάλης Kjeldahl, προστέθηκε 0,5 g ± 0,01 g κοσκινισμένου Fe (περασμένο από κόσκινο 100-mesh), ύστερα η φιάλη αναδεύτηκε και το μίγμα αφέθηκε σε ηρεμία για περίπου 15 λεπτά, έως παύσης του αναβρασμού. Ένα

γυάλινο καπάκι τοποθετείται χαλαρά στη φιάλη, η οποία τίθεται σε ελεγχόμενο βρασμό με ανάδευση για 45 λεπτά. Έπειτα αφήνεται να κρυώσει και αφαιρείται το καπάκι, ενώ τοποθετούνται δυο γυάλινες χάντρες μαζί με 1,1 g μίγματος αλατικού καταλύτη (100 g K_2SO_4, 10 g $CuSO_4 \times 5H_2O$ και 1 g Se αλεσμένα μέχρι να γίνου σκόνη) και 3 mL πυκνού H_2SO_4. Το μίγμα περνάει στη διαδικασία της χώνευσης, θερμαίνεται απαλά στην αρχή και έπειτα πιο έντονα, ενώ η φιάλη γυρίζεται περιστασιακά. Έπειτα από περίπου 30 λεπτά, το μίγμα δημιουργεί ένα καθαρό πρασινωπό-κίτρινο χρώμα. Ο χρόνος που το μίγμα παραμένει καθαρό εξαρτάται από τον τύπο το δείγματος. Αυτός ο χρόνος μετράται και καταγράφεται. Ο βρασμός συνεχίζεται έως ότου όλη η διαδικασία της χώνευσης να έχει κρατήσει τουλάχιστον 1,5 φορά το χρόνο που το δείγμα παρέμεινε καθαρό. Το δείγμα ψύχεται ελαφρώς. Στο ακόμα ζεστό χώνεμα, προστίθεται νερό σταγόνα-σταγόνα στο πλάι της φιάλης έως ότου η βίαιη αντίδραση να υποχωρήσει και έπειτα προστίθενται άλλα 15 – 25 mL νερό. Το χώνεμα μεταφέρθηκε σε κατάλληλη συσκευή απόσταξης με ατμό και προστέθηκαν 20 mL NaOH 10 N. Η απόσταξη έγινε σε φιάλη Erlenmeyer των 50 mL που περιείχε 5 mL δείκτη διαλύματος H_3BO_3 (4%). Έπειτα συλλέχθηκαν 35 mL από το απόσταγμα. Το NH_4^+-N στο απόσταγμα προσδιορίστηκε με τιτλοδότηση H_2SO_4 0,01 N έως ότου αλλαγής χρώματος από πράσινο σε ροζ (Kirk, 1950; Bremmer, 1965).



Εικόνα 5: *Συσκευή απόσταξης με υδρατμούς τύπου Kjeldahl (Πηγή: Kirk, 1950)*

- Για τη μέτρηση του φωσφόρου ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο της μεθόδου του

Olsen (Olsen et al., 1954). Αρχικά, σε μια κωνική φιάλη Erlenmeyer μεταφέρθηκαν 5 g εδάφους και προστέθηκαν 100 mL $NaHCO_3$ 0,5 M (pH = 8,5) και μικρή ποσότητα (περίπου 1 κουτάλι του γλυκού) ενεργού άνθρακα. Το μίγμα ανακινήθηκε για 30 λεπτά σε συσκευή ανακίνησης και στο τέλος διηθήθηκε με ηθμό Whatman Nº 44. Ύστερα, το διάλειμμα χρωματίστηκε όπως περιγράφεται στη μέθοδο των Myrphy και Riley (1962) (τροποποιημένη από τους Watanabe και Olsen (1965)). Η φασματοφωτομετρία πραγματοποιήθηκε σε φασματοφωτόμετρο. Πριν τη μέτρηση των δειγμάτων, προηγήθηκε βαθμονόμηση του οργάνου, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τέλος, μετρήθηκε η ένταση του χαρακτηριστικού μπλε χρώματος του κάθε δείγματος σε μήκος κύματος 882 nm. Για την έκφραση των αποτελεσμάτων, μετρήθηκε η απορρόφηση πρότυπων δειγμάτων γνωστής συγκέντρωσης P και φτιάχτηκε καμπύλη βαθμονόμησης.

- Το διαθέσιμο κάλιο προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου (Rich, 1965; Mc Lean and Watson, 1985). Σε ένα σωλήνα φυγοκέντρου των 50 mL τοποθετήθηκαν 5 g εδάφους και 25 mL NH_4OAc 1 M. Το αιώρημα ανακινήθηκε σε ειδική μηχανή για 30 λεπτά. Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 2.000 στροφές για 10 λεπτά και μετάγγιση του υπερκείμενου διαυγούς διαλύματος σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για το ίδιο δείγμα εδάφους και η ογκομετρική φιάλη συμπληρώθηκε στα 50 mL με διάλυμα NH_4OAc 1 N. Τέλος, ακολούθησε ο προσδιορισμός του καλίου στο εκχύλισμα, φλογοφωτομετρικά. Για την έκφραση των αποτελεσμάτων, μετρήθηκαν πρότυπα εκχυλίσματα, γνωστής συγκέντρωσης K και φτιάχτηκε καμπύλη βαθμονόμησης.
- Η οργανική ουσία του εδάφους μετρήθηκε με τη μέθοδο των Wakley-Black (1934). Τοποθετήθηκε 1 g εδάφους σε κωνική φιάλη, με προσθήκη 10 mL $K_2Cr_2O_7$ 1 N και ήπια ανάδευση του μίγματος με περιστροφική κίνηση. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 20 mL πυκνού H_2SO_4 και ακολούθησε νέα ανάδευση για 1 λεπτό σε απαγωγό εστία και το δείγμα αφέθηκε σε ηρεμία για 30 λεπτά. Μετά το πέρας των 30 λεπτών, προστέθηκαν στην κωνική φιάλη κατά σειρά 150 mL απιονισμένου νερού, 10 mL πυκνού H_3PO_4, 0,2 g NaF και 1 mL δείκτη διφαινυλαμίνης. Για τον έλεγχο του δισθενούς σιδήρου, παρασκευάστηκε και τυφλό διάλυμα, που περιείχε όλα τα παραπάνω, εκτός από έδαφος. Ακολουθεί η ογκομέτρηση του τυφλού και όλων των διαλυμάτων εδάφους με διάλυμα δισθενούς σιδήρου. Το τέλος της εξουδετέρωσης

διαπιστώνεται με την αιφνίδια αλλαγή χρώματος από σκούρο μπλε ιώδες σε πράσινο. Ο υπολογισμός της οργανικής ουσίας γίνεται σύμφωνα με τις εξισώσεις που περιγράφονται στη μέθοδο των Wakley-Black (1934).

- Η μέτρηση του ελεύθερου $CaCO_3$ στο δείγμα εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου (Jackson, 1958) και απαιτούσε αρχικά εκτίμηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε $CaCO_3$. Για να επιτευχθεί αυτό, σε μια κάψα από πορσελάνη μεταφέρθηκε μικρή ποσότητα εδάφους στο οποίο προστέθηκαν με σταγονομετρικό φιαλίδιο λίγες σταγόνες διαλύματος HCl. Το δείγμα άφρισε ήπια, άρα το έδαφος περιείχε αρκετή ποσότητα $CaCO_3$. Έτσι, για την ακριβή μέτρηση, ζυγίστηκε 1 g εδάφους και τοποθετήθηκε στη φιάλη του ασβεστόμετρου Bernard. Ο δοκιμαστικός σωλήνας της συσκευής γεμίστηκε κατά τα 2/3 του όγκου του με διάλυμα HCL και τοποθετήθηκε όρθιος στην κωνική φιάλη. Ύστερα ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες μέτρησης, όπως τις περιγράφει ο Jackson (1958).
- Το ανταλλάξιμο ασβέστιο και μαγνήσιο προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου (Rich, 1965; Mc Lean and Watson, 1985) όπως περιεγράφηκε στη μέτρηση του καλίου, αλλά με επιπλέον βήμα την αραίωση του διαλύματος με απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:19 για το ασβέστιο και 1:49 για το μαγνήσιο.
- Ο προσδιορισμός του βόριου στο έδαφος πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του ζέον ύδωρ που προτάθηκε από τους Berger and Truog (1939), τροποποιήθηκε από τους Parker and Gardner (1981) και περιγράφεται από τον Keren (1996) και αφορά στη χρήση Azomethine-H (Gupta, 1975). Αρχικά 30 g εδάφους μεταφέρθηκαν σε σφαιρική φιάλη ζέσεως των 250 mL και προστέθηκαν 60 mL διαλύματος $CaCl_2$ 0,02 M. Η φιάλη τοποθετήθηκε σε ειδική συσκευή για τη μέτρηση του βορίου, όπου θερμάνθηκε μέχρι έναρξης του βρασμού και αφήνεται να βράσει για 5 λεπτά ακριβώς. Κατόπιν ψύχθηκε και το περιεχόμενο διηθήθηκε με ηθμό Whatman Nº 42 σε πλαστικό ποτήρι. Το εκχύλισμα ήταν άχροο και 15 mL αυτού μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 1 mL διαλύματος EDTA, 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος και ακολούθησε καλή ανάμιξη. Ύστερα προστέθηκαν 5 mL διαλύματος Azomethine-H και συμπληρώθηκε νερό μέχρι πλήρωσης των 25 mL και έγινε καλή ανάμιξη. Το δείγμα αφέθηκε για 2 ώρες σε ηρεμία και ύστερα μετρήθηκε η απορρόφηση σε φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 420 nm. Για την έκφραση των αποτελεσμάτων, μετρήθηκε η απορρόφηση

σε πρότυπα μίγματα, γνωστής συγκέντρωσης Β και φτιάχτηκε καμπύλη βαθμονόμησης.

- Τέλος, η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων σίδηρος, ψευδάργυρος, χαλκός και μαγγάνιο προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DTPA-TEA (Lindsay and Norvell, 1978). Συγκεκριμένα, 10 g εδάφους και 20 mL εκχυλιστικού DTPA-TEA τοποθετήθηκαν σε κωνική φιάλη των 125 mL και το στόμιο της κλείσθηκε με parafilm. Η φιάλη τοποθετήθηκε σε παλινδρομικό ανακινητήρα και ανακινήθηκε για 2 ώρες με ταχύτητα 120 παλινδρομήσεων το λεπτό και διάστημα μετατόπισης 8 cm. Ακολούθησε απλή διήθηση του αιωρήματος σε ηθμό Whatman 42^{o}. Ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με ατομική απορρόφηση μετά από αραίωση του κάθε διαλύματος με νερό σε αναλογία 1:1.

4.6 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το IBM SPSS Statistics 26.00, με όλους τους ελέγχους να είναι δίπλευροι και σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας α = 0,05. Αρχικά, έγινε έλεγχος κανονικότητας των κατανομών όλων των μεταβλητών μέσω του ελέγχου Shapiro – Wilk, που είναι κατάλληλος για μικρά δείγματα (ν < 50). Η κατανομή ήταν κανονική (Pvalue > 0,05) και έτσι εφαρμόστηκαν παραμετρικοί έλεγχοι. Υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στοιχεία για ποσοτικές μεταβλητές και συγκεκριμένα η μέση τιμή (τυπική απόκλιση). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε εις διπλούν ο έλεγχος One Sample T-Test, την πρώτη φορά με σκοπό τη σύγκριση των μέσων τιμών εδαφολογικών μετρήσεων μεταξύ των 3 ζωνών διαχείρισης και τη δεύτερη με σκοπό τη σύγκριση των μέσων τιμών των εδαφολογικών μετρήσεων με τα κατώτατα όρια για την καλλιέργεια της ελιάς (Κεραμίδας, 1989). Τέλος, εφαρμόστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson’s r για τη διερεύνηση συσχετίσεων μεταξύ των μεταβλητών.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μηδέν εκ του μη όντος γίνεσθαι μηδ' ες το μη ον φθείρεσθαι.

Δημόκριτος (470 – 370 π.Χ.)

5.1 Επεξεργασία και Αποτελέσματα ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων

Η επεξεργασία των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων στοχεύει στην εξομάλυνση των δεδομένων και στην απαλοιφή του θορύβου, ούτως ώστε να είναι αναγνωρίσιμες οι υπεδάφιες δομές. Πηγές θορύβου μπορεί να είναι:

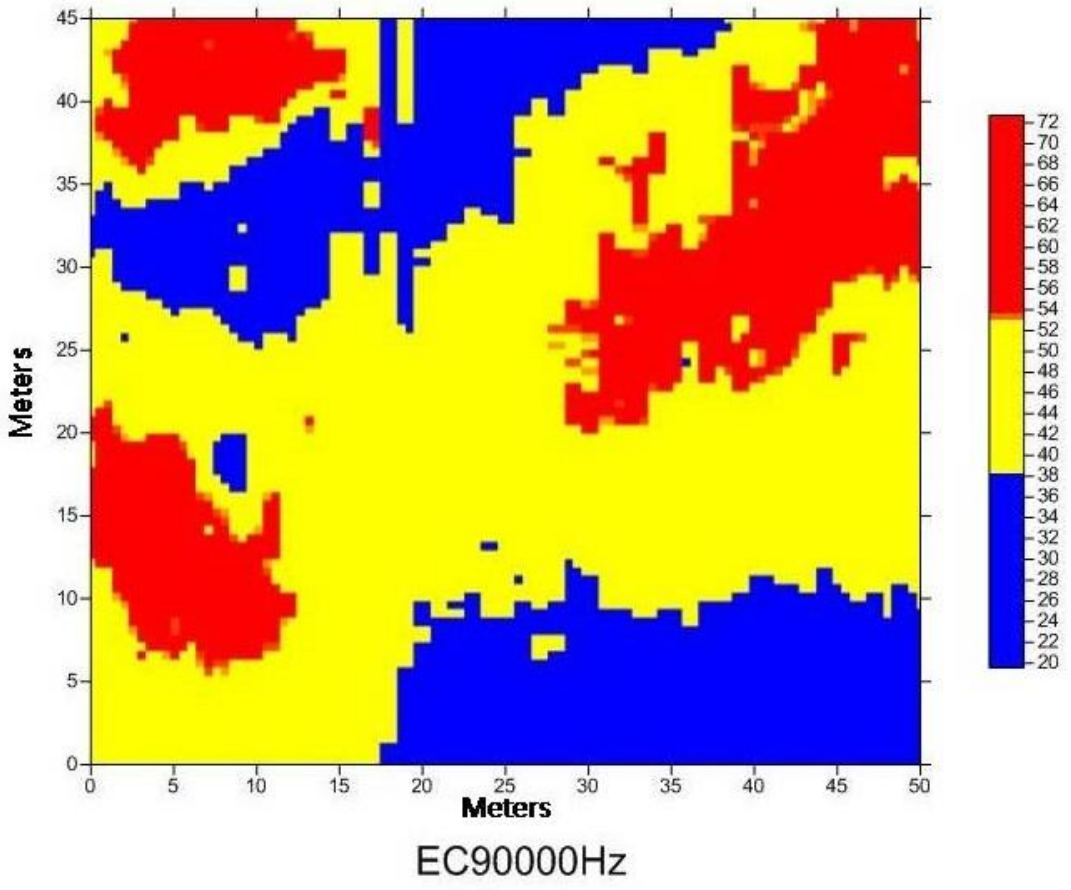
- Το επιφανειακό διαταραγμένο στρώμα λόγω άροσης και καλλιέργειας.
- Τα διάσπαρτα μεταλλικά αντικείμενα αλλά και τα θαμμένα.
- Η παρουσία μεταλλικών περιφράξεων και απομακρυσμένων πυλώνων της ΔΕΗ.
- Η παρουσία σωρών απορριμμάτων.

Τα επίπεδα επεξεργασίας τα οποία έλαβαν χώρα κατά τη συγκεκριμένη επεξεργασία είναι τα εξής:

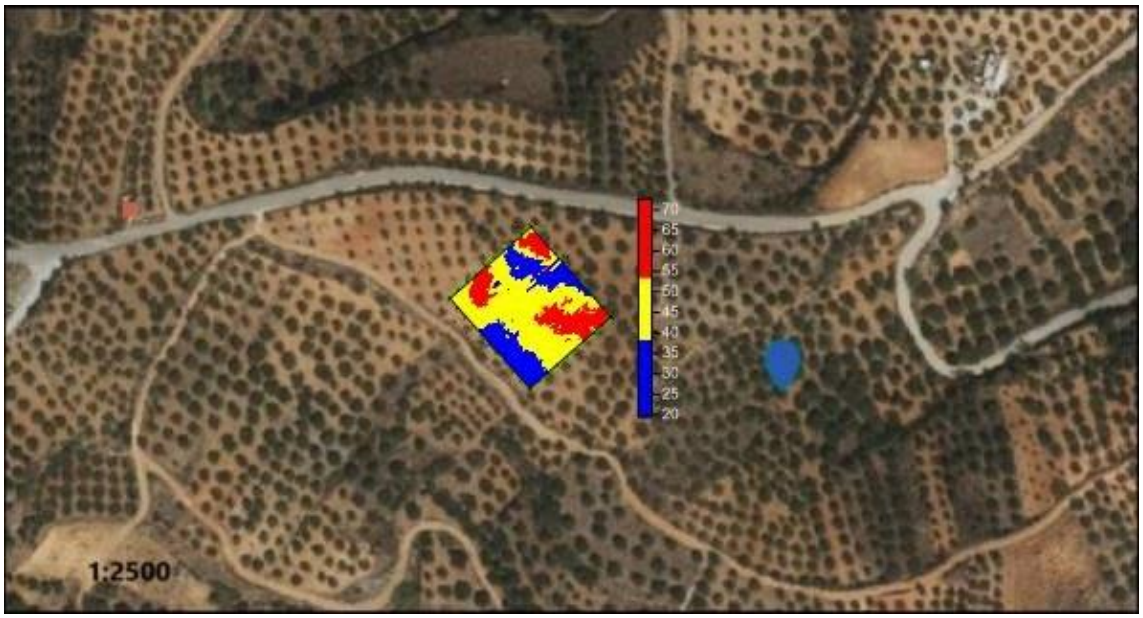
1) **Αποκοπή (Muting)**, κατά την οποία έγινε αποκοπή των πολύ ακραίων τιμών.
2) **Διόρθωση επιπέδου ή μέσης τιμής (Mean Correction):** Στο στάδιο αυτό έγινε διόρθωση στο επίπεδο αναφοράς διότι υπήρχε μεταβολή του ύψους του οργάνου λόγω της τοπογραφίας. Όσον αφορά στην MSusc, η διόρθωση επιπέδου έγινε με επίπεδο αναφοράς το μηδέν, ενώ όσον αφορά στην αγωγιμότητα, η διόρθωση επιπέδου έγινε με επίπεδο αναφοράς τη μέση τιμή όλων των καννάβων. Στη συνέχεια προστέθηκε ή αφαιρέθηκε σε κάθε κάνναβο η διαφορά μέσης τιμής όλων των καννάβων μείον τη μέση τιμή κάθε καννάβου. Αυτό ισχύει για τα ηλεκτρικά και την EC στα ηλεκτρομαγνητικά. Στα μαγνητικά και την MSusc στα ηλεκτρομαγνητικά, προστέθηκε το αντίθετο της μέσης τιμής για να μηδενιστεί η μέση τιμή του κάθε καννάβου.

3) **Αποκοπή ακραίων τιμών (Despiking):** Από τη διόρθωση επιπέδου προέκυψαν τα mean corrected data, από τα οποία στην συνέχεια αποκόπηκαν οι πολύ ακραίες τιμές ως εξής: ελέγχθηκε η τυπική απόκλιση του συνόλου των τιμών σε σχέση με τη μέση τιμή και κρατήθηκαν οι τιμές που απέχουν +/- μία ή δυο φορές την τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από αυτό το διάστημα, αντικαταστάθηκαν με τιμή ίση με τη μέση τιμή +/- την τυπική απόκλιση. Έτσι προέκυψαν τα despiked data.

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα 90.000 Hz έδωσε τρεις διαφορετικές ζώνες διαχείρισης, τη μπλε (20 mS/m – 38 mS/m), την κίτρινη (38,1 mS/m – 53 mS/m) και την κόκκινη (53,1 mS/m – 72 mS/m) (Εικ. 6 & 7).

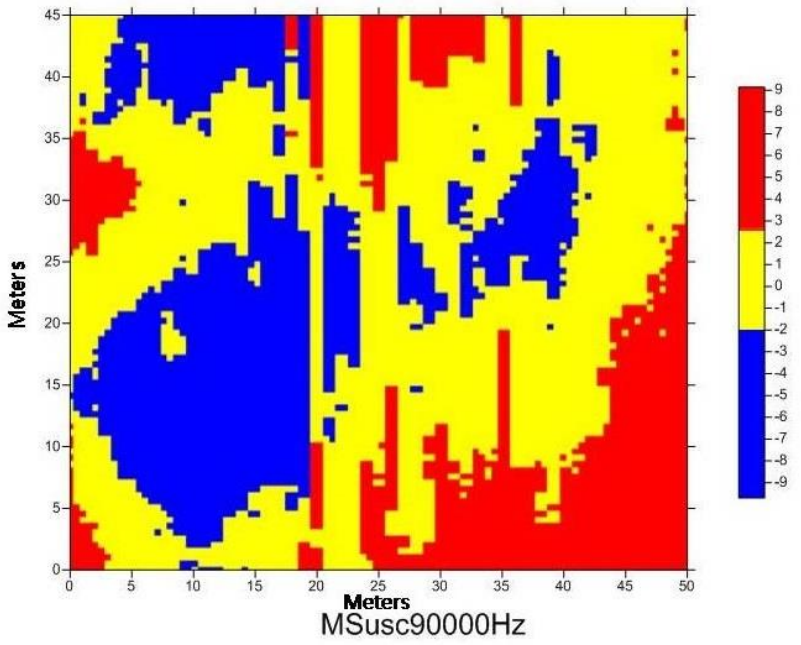


Εικόνα 6: *Χάρτης κατανομής της φαινομενικής αγωγιμότητας (mS/m) στον ελαιώνα με βάση τη μετρική απόσταση από το σημείο 0. Εντοπίζονται 3 ζώνες διαχείρισης*

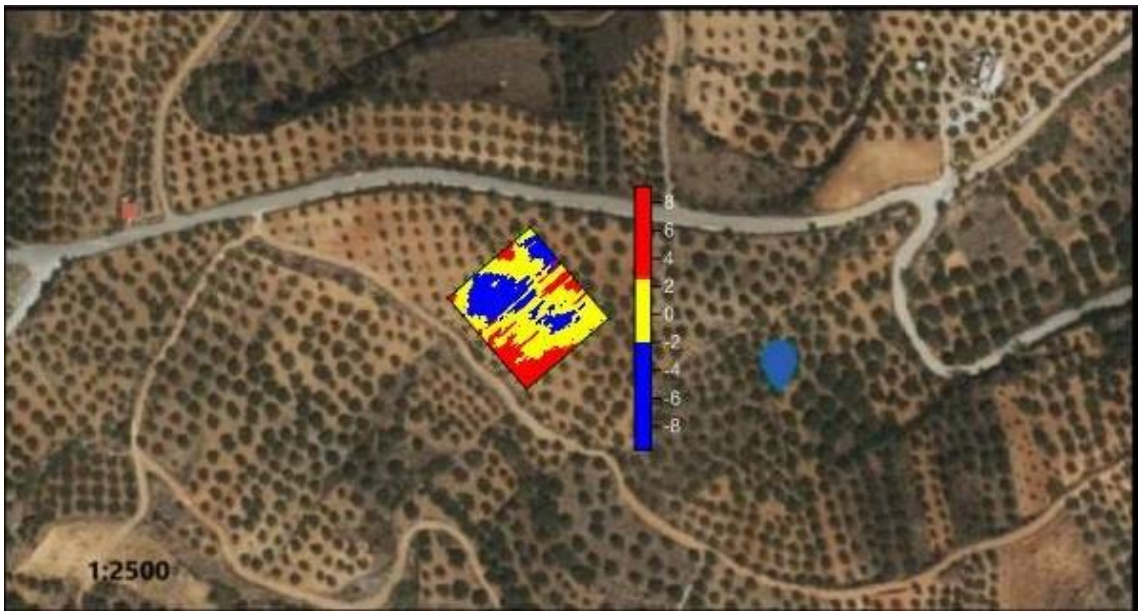


Εικόνα 7: *Υπέρθεση του χάρτη φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο υπόβαθρο του κτηματολογίου. Εντοπίζονται 3 ζώνες αγωγιμότητας*

Η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας (10^{-5} SI) στα 90.000Hz έδωσε τρεις διαφορετικές ζώνες διαχείρισης, τη μπλε (-9x10^{-5} SI – -2 x10^{-5} SI), την κίτρινη (-2 x10^{-5} SI – 2,5 x10^{-5} SI) και την κόκκινη (2,5 x10^{-5} SI – 9 x10^{-5} SI) (Εικ. 8 & 9). Η μαγνητική επιδεκτικότητας στη παρούσα περίπτωση έλαβε πολύ μικρές τιμές, γεγονός που σημαίνει ότι στο συγκεκριμένο έδαφος υπάρχουν πολύ μικρές ποσότητες μετάλλων.



Εικόνα 8: *Χάρτης κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας (10^{-5} SI) στον ελαιώνα με βάση τη μετρική απόσταση από το σημείο 0. Εντοπίζονται 3 ζώνες διαχείρισης*



Εικόνα 9: *Υπέρθεση του χάρτη μαγνητικής επιδεκτικότητας στο υπόβαθρο του κτηματολογίου. Εντοπίζονται 3 ζώνες αγωγιμότητα*

5.2 Αποτελέσματα εδαφολογικών αναλύσεων

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που πάρθηκε από τη μπλε ζώνη. Συγκεκριμένα, η μηχανική σύσταση του εδάφους αποτελούνταν από 56% άμμο, 24% ιλύ και 20% άργιλο. Το pH στη ζώνη αυτή βρέθηκε στο 8,52 και η EC ήταν 0,160 mS/cm. Εν συνεχεία, η οργανική ουσία μετρήθηκε στο 1,24% και το ελεύθερο $CaCO_3$ στο 9,37%. Όσον αφορά στις αφομοιώσιμες από τα δένδρα μορφές μακροστοιχείων, εκφρασμένα σε mg/kg εδάφους, το οργανικό άζωτο μετρήθηκε στα 500 ppm, ο φώσφορος στα 4,72 ppm, το κάλιο στα 368,75 ppm, το ασβέστιο στα 3.464 ppm και το μαγνήσιο στα 72,5 ppm. Τέλος, όσον αφορά στις αφομοιώσιμες από τα δένδρα μορφές ιχνοστοιχείων, εκφρασμένα σε mg/kg εδάφους, ο σίδηρος μετρήθηκε στα 2,008 ppm, ο ψευδάργυρος στα 1,156 ppm, το μαγγάνιο στα 6,352 ppm, ο χαλκός στα 1,16 ppm και το βόριο στα 0,9 ppm.

Πίνακας 3: *Παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που λήφθηκε από τη μπλε ζώνη*

Παράμετροι	***Συγκέντρωση σε ppm (mg/kg εδάφους)***
Μηχανική σύσταση [a]	
Άμμος	56
Ιλύς	24
Άργιλος	20
pH (σε 28°C) [c]	8,52
EC [b]	0,160
Οργανική ουσία [a]	1,24
Ελεύθερο $CaCO_3$ (σε 28°C) [a]	9,37
Μακροστοιχεία	
N	500
P	4,72
K	368,75
Ca	3.464
Mg	72,50
Ιχνοστοιχεία	
Fe	2,008
Zn	1,156
Mn	6,352
Cu	1,16
B	0,9

[a] Ποσοστό %

[b] mS/cm

[c] Απόλυτος αριθμός

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που πάρθηκε από την κίτρινη ζώνη. Συγκεκριμένα, η μηχανική σύσταση του εδάφους αποτελούνταν από 54% άμμο, 26% ιλύ και 20% άργιλο. Το pH στη ζώνη αυτή βρέθηκε στο 8,70 και η EC ήταν 0,114 mS/cm. Εν συνεχεία, η οργανική ουσία μετρήθηκε στο 0,7% και το ελεύθερο $CaCO_3$ στο 8,47%. Όσον αφορά στις αφομοιώσιμες από τα δένδρα μορφές μακροστοιχείων, εκφρασμένα σε mg/kg εδάφους, το οργανικό άζωτο μετρήθηκε στα 770 ppm, ο φώσφορος στα 1,27 ppm, το κάλιο στα 368,75 ppm, το ασβέστιο στα 3.584 ppm και το μαγνήσιο στα 63,5 ppm. Τέλος, όσον αφορά στις αφομοιώσιμες από τα δένδρα μορφές ιχνοστοιχείων, εκφρασμένα σε mg/kg εδάφους, ο σίδηρος μετρήθηκε στα 1,880 ppm, ο ψευδάργυρος στα 0,724 ppm, το μαγγάνιο στα 6,892 ppm, ο χαλκός στα 0,74 ppm και το βόριο στα 0,7 ppm.

Πίνακας 4: *Παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που λήφθηκε από την κίτρινη ζώνη*

Παράμετροι	***Συγκέντρωση σε ppm (mg/kg εδάφους)***
Μηχανική σύσταση [a]	
Άμμος	54
Ιλύς	26
Άργιλος	20
pH (σε 28°C) [c]	8,70
EC [b]	0,114
Οργανική ουσία [a]	0,7
Ελεύθερο $CaCO_3$ (σε 28°C) [a]	8,47
Μακροστοιχεία	
N	770
P	1,27
K	368,75
Ca	3.584
Mg	63,50
Ιχνοστοιχεία	
Fe	1,880
Zn	0,724
Mn	6,892
Cu	0,74
B	0,7

[a] Ποσοστό %

[b] mS/cm

[c] Απόλυτος αριθμός

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που πάρθηκε από την κόκκινη ζώνη. Συγκεκριμένα, η μηχανική σύσταση του εδάφους αποτελούνταν από 54% άμμο, 24% ιλύ και 22% άργιλο. Το pH στη ζώνη αυτή βρέθηκε στο 8,75 και η EC ήταν 0,102 mS/cm. Εν συνεχεία, η οργανική ουσία μετρήθηκε στο 1,02% και το ελεύθερο $CaCO_3$ στο 8,92%. Όσον αφορά στις αφομοιώσιμες από τα δένδρα μορφές μακροστοιχείων, εκφρασμένα σε mg/kg εδάφους, το οργανικό άζωτο μετρήθηκε στα 780 ppm, ο φώσφορος στα 1,86 ppm, το κάλιο στα 347,36 ppm, το ασβέστιο στα 3.404 ppm και το μαγνήσιο στα 82 ppm. Τέλος, όσον αφορά στις αφομοιώσιμες από τα δένδρα μορφές ιχνοστοιχείων, εκφρασμένα σε mg/kg εδάφους, ο σίδηρος μετρήθηκε στα 2,332 ppm, ο ψευδάργυρος στα 2,300 ppm, το μαγγάνιο στα 7,720 ppm, ο χαλκός στα 4,85 ppm και το βόριο στα 1,4 ppm.

Πίνακας 5: *Παρατηρούμενες τιμές διαφόρων παραμέτρων από δείγμα εδάφους που λήφθηκε από την κόκκινη ζώνη*

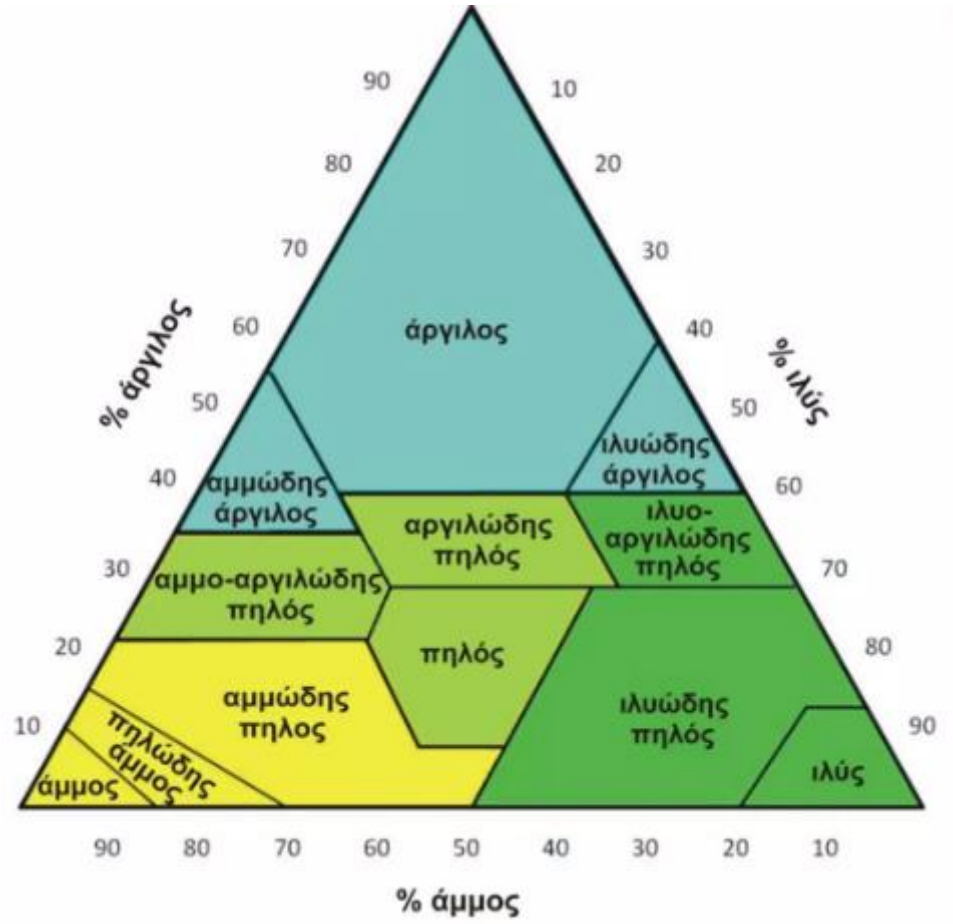
Παράμετροι	***Συγκέντρωση σε ppm (mg/kg εδάφους)***
Μηχανική σύσταση [a]	
Άμμος	54
Ιλύς	24
Άργιλος	22
pH (σε 28°C) [c]	8,75
EC [b]	0,102
Οργανική ουσία [a]	1,02
Ελεύθερο $CaCO_3$ (σε 28°C) [a]	8,92
Μακροστοιχεία	
N	780
P	2,86
K	347,36
Ca	3.404
Mg	82
Ιχνοστοιχεία	
Fe	2,332
Zn	2,300
Mn	7,720
Cu	4,85
B	1,4

[a] Ποσοστό %

[b] mS/cm

[c] Απόλυτος αριθμός

Σύμφωνα με το ισόπλευρο τρίγωνο κοκκομετρικής σύστασης εδαφών (Εικόνα 10), το έδαφος και στις 3 ζώνες διαχείρισης χαρακτηρίζεται ως αμμο-αργιλώδης πηλός.



Εικόνα 10: *Ισόπλευρο τρίγωνο κοκκομετρικής σύστασης για την κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες (Πηγή: Σινάνης, 2015)*

5.3 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τις εδαφολογικές αναλύσεις μεταξύ των 3 ζωνών διαχείρισης. Κατά τον έλεγχο αυτό, όλες οι συγκρίσεις παρουσίασαν στατιστική σημαντικότητα (Pvalue < 0,05), εκτός από τη σύγκριση του φώσφορου, του ψευδάργυρου και του χαλκού.

Πίνακας 6: *Σύγκριση τιμών των παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τις εδαφολογικές αναλύσεις μεταξύ των 3 ζωνών διαχείρισης*

Παράμετροι	***Mean (Std. Deviation)***	***t***	***Pvalue***	***Mean Difference***	***95% Confidence Interval of the Difference***	
					Lower	**Upper**
pH εδάφους	8,657 (0,121)	123,948	**<0,001**	8.657	8,356	8,957
EC (0-30 cm)	0,125 (0,031)	7,091	**<0,019**	0,125	0,492	0,202
Οργανική ουσία	0,987 (0,271)	6,294	**0,024**	0,987	0,312	1,661
Ελεύθερο $CaCO_3$	8,920 (0,450)	34,333	**0,001**	8,920	7,802	10,038
Οργανικό άζωτο	683,333 (158,850)	7,451	**0,018**	683,333	288,728	1077,939
Φώσφορος	2,950 (1,727)	2,959	0,098	2,950	-1,339	7,240
Κάλιο	361,62 (12,349)	50,718	**<0,001**	361,62	330,942	392,298
Ασβέστιο	3.484 (91,652)	65,841	**<0,001**	3.484	3.256,33	3.711,67
Μαγνήσιο	72,633 (9,301)	13,526	**0,005**	72,633	49,629	95,738
Σίδηρος	2,073 (0,233)	15,414	**0,004**	2,073	1,495	2,652
Ψευδάργυρος	1,393 (0,814)	2,963	0,098	1,393	-0,630	3,416
Μαγγάνιο	6,988 (0,689)	17,566	**0,003**	6,988	5,276	8,700
Χαλκός	2,250 (2,261)	1,723	0,227	2,250	-3,368	7,868
Βόριο	1 (0,361)	4,804	**0,041**	1	0,104	1,896

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τις εδαφολογικές αναλύσεις σε κάθε μια από τις 3 ζώνες διαχείρισης με τα κατώτατα όρια για την καλλιέργεια της ελιάς (Κεραμίδας, 1989, Πίνακας 6). Κατά τον έλεγχο αυτό, όλες οι συγκρίσεις παρουσίασαν στατιστική σημαντικότητα (Pvalue < 0,05), εκτός από τη σύγκριση του ελεύθερου $CaCO_3$ που οριακά δεν ήταν στατιστικά σημαντικό (Pvalue = 0,053), του μαγνήσιού του ψευδάργυρου, του χαλκού και του βορίου.

Πίνακας 7: *Σύγκριση τιμών των παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τις εδαφολογικές αναλύσεις σε κάθε μια από τις 3 ζώνες διαχείρισης με τα κατώτατα όρια για την καλλιέργεια της ελιάς (Κεραμίδας, 1989)*

Παράμετροι	***Mean (Std. Deviation)***	***t***	***Pvalue***	***Mean Difference***	***95% Confidence Interval of the Difference***	
					Lower	**Upper**
pH εδάφους	8,657 (0,121)	30,880	**0,001**	2,156	1,856	2,457
EC (0-30 cm)	0,125 (0,031)	-106,057	**<0,001**	-1,875	-1,951	-1,798
Οργανική ουσία	0,987 (0,271)	-6,464	**0,023**	-1,013	-1,688	-0,339
Ελεύθερο $CaCO_3$	8,920 (0,450)	-4,157	0,053	-1,080	-2,198	0,038
Φώσφορος	2,950 (1,726)	-17,102	**0,003**	-17,050	-21,340	-12,761
Κάλιο	361,62 (12,349)	25,473	**0,002**	181,62	150,942	212,298
Ασβέστιο	3.484 (91,652)	60,172	**<0,001**	3.184	2.956,33	3.411,67
Μαγνήσιο	72,633 (9,301)	-1,744	0,223	-9,367	-32,471	13,738
Σίδηρος	2,073 (0,233)	-36,627	**0,001**	-4,927	-5,505	-4,348
Ψευδάργυρος	1,393 (0,814)	0,837	0,491	0,393	-1,630	2,416
Μαγγάνιο	6,988 (0,689)	-12,600	**0,006**	-5,012	-6,723	-3,301
Χαλκός	2,250 (2,261)	1,111	0,382	1,450	-4,168	7,068
Βόριο	1 (0,361)	1,201	0,353	0,25	-0,646	1,146

Τέλος, διενεργήθηκαν έλεγχοι συσχετίσεων μεταξύ της ECa και της EC (0-30 cm) και μεταξύ της ECa και των αποτελεσμάτων των ιχνοστοιχείων και μακροστοιχείων του εδάφους, από τις οποίες δεν παρατηρήθηκε κάποιο στατιστικά σημαντικό εύρημα (Pvalue > 0,05). Παρόλα αυτά εντοπίστηκαν ορισμένες θετικές ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ της ECa και του μαγνησίου, σίδηρου, ψευδάργυρου, μαγγανίου, χαλκού και βόριου (r > 0,82).

6 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο μη ειδώς σιωπάν, ουκ οίδε διαλέγεσθαι (Αυτός που δεν ξέρει να σωπαίνει, δεν ξέρει να συζητά).

Αριστοτέλης (384 – 322 π.Χ.)

6.1 Σύνοψη κύριων ευρημάτων

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 8, οι περισσότεροι παράμετροι παρουσιάζουν μια ομοιομορφία μεταξύ των 3 ζωνών διαχείρισης εντός του ελαιώνα, με κάποιες αποκλίσεις που αξίζει να αναφερθούν. Αρχίζοντας από τις όμοιες παρατηρήσεις στις παραμέτρους μεταξύ των ζωνών, η μηχανική σύσταση του εδάφους ήταν η ίδια, το pH χαρακτηρίζεται ως βασικό και στις 3 ζώνες (>7) και η οργανική ουσία κυμάνθηκε σε χαμηλά ποσοστά, χαμηλότερα από το επιθυμητό όριο για την καλλιέργεια. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσίασε μια διακύμανση μεταξύ των ζωνών, γεγονός που επιβεβαιώνει και την επίγεια χαρτογράφηση με το GEM-2. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η ECa και η EC στα 0-30 cm παρουσίασαν αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση.

Όσον αφορά στα μακροστοιχεία, το οργανικό άζωτο παρουσίασε μια διαφοροποίηση, η οποία είναι πιο εμφανής στην κίτρινη ζώνη, ενώ στην κόκκινη και στην μπλε κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα. Η μέτρησή του συμβάδισε με τη διαφοροποίηση της οργανικής ουσίας του εδάφους στις 3 ζώνες, μιας και αυτές οι δυο παράμετροι είναι άρρηκτα συνδεδεμένες. Ο φώσφορος βρέθηκε σε ανεπάρκεια και στις 3 ζώνες, ενώ το κάλιο σε υπερεπάρκεια και μάλιστα με μικρό ποσοστό διαφοροποίησης μεταξύ των ζωνών. Το ασβέστιο βρέθηκε σε υπερεπάρκεια και στις 3 ζώνες, με παρόμοιες παρατηρούμενες τιμές. Το μαγνήσιο παρουσίασε μια διαφοροποίηση, ήτοι στη μπλε και στην κίτρινη ζώνη βρέθηκε σε ανεπάρκεια, ενώ στην κόκκινη σε οριακή επάρκεια. Η έλλειψη του φωσφόρου ήταν αναμενόμενη και μπορεί εύκολα να δικαιολογηθεί από το υψηλό ποσοστό ασβεστίου, τόσο του αφομοιώσιμου, όσο και του ελεύθερου $CaCO_3$ που μετρήθηκε στο έδαφος. Τέτοια επίπεδα ασβεστίου στο έδαφος τείνουν να δημιουργούν δυσδιάλυτα σύμπλοκα με το φώσφορο, που δεν αφομοιώνονται

από τα φυτά (Adams, 1980).

Όσον αφορά στα ιχνοστοιχεία, ο σίδηρος και το μαγγάνιο παρουσίασαν ανεπάρκεια και στις 3 ζώνες, με παρόμοιες παρατηρούμενες τιμές, ενώ ο ψευδάργυρος βρέθηκε σε ανεπάρκεια στην κίτρινη ζώνη, σε οριακή επάρκεια στη μπλε και σε επάρκεια στην κόκκινη. Επιπλέον, ο χαλκός βρέθηκε σε ανεπάρκεια στην κίτρινη ζώνη, σε επάρκεια στη μπλε και σε υπερεπάρκεια στην κόκκινη ζώνη. Τέλος, το βόριο βρέθηκε σε επάρκεια στη μπλε ζώνη, σε οριακή ανεπάρκεια στην κίτρινη ζώνη και σε υπερεπάρκεια στην κόκκινη ζώνη.

Πίνακας 8: *Συγκριτικός πίνακας των παραμέτρων του εδάφους ανά ζώνη διαχείρισης, καθώς και τα επιθυμητά όρια παρουσίας θρεπτικών συστατικών για την καλλιέργεια της ελιάς (Κεραμίδας, 1989). Οι τιμές που αναγράφονται είναι σε mg/kg εδάφους, εκτός από εκεί που υπάρχει ειδική σήμανση*

Παράμετροι	***Μπλε ζώνη***	***Κίτρινη ζώνη***	***Κόκκινη ζώνη***	***Όρια ελιάς***
Μηχανική σύσταση [a]				
Άμμος	56	54	54	-
Ιλύς	24	26	24	-
Άργιλος	20	20	22	-
pH (σε 28°C) [c]	8,52	8,70	8,75	6,5 - 8
EC [b]	0,160	0,114	0,102	<2
Οργανική ουσία [a]	1,24	0,7	1,02	>2
Ελεύθερο $CaCO_3$ (σε 28°C) [a]	9,37	8,47	8,92	<10
Μακροστοιχεία				
N	500	770	780	-
P	4,72	1,27	2,86	20 - 37
K	368,75	368,75	347,36	180 - 310
Ca	3.464	3.584	3.404	300 - 750
Mg	72,50	63,50	82	82 - 148
Ιχνοστοιχεία				
Fe	2,008	1,880	2,332	7 - 25
Zn	1,156	0,724	2,300	1 – 2,5
Mn	6,352	6,892	7,720	12 - 25
Cu	1,16	0,74	4,85	0,8 – 1,5
B	0,9	0,7	1,4	0,75 – 1,25

[a] Ποσοστό %

[b] mS/cm

[c] Απόλυτος αριθμός

Η εγκυρότητα της μεθοδολογίας ενισχύεται και από τη στατιστική ανάλυση, καθώς η σύγκριση των μετρούμενων τιμών μεταξύ των ζωνών διαχείρισης αλλά και μεταξύ των κατώτατων ορίων για την καλλιέργεια της ελιάς (Πίνακες 6 & 7 στο Κεφάλαιο 5) έδωσε πολλές στατικά σημαντικές διαφοροποιήσεις (Pvalue < 0,05).

Στους ελέγχους συσχετίσεων που έγιναν δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντικό εύρημα, γεγονός το οποίο οφείλεται στο μικρό δείγμα μελέτης. Σε επόμενη μελέτη συνιστάται η λήψη και επεξεργασία μεγαλύτερου δείγματος ώστε τα δεδομένα να είναι περισσότερο αξιόπιστα.

6.2 Σύγκριση με άλλες μελέτες

Από μια σύντομη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, ενώ το GEM-2 έχει χρησιμοποιηθεί, μεταξύ άλλων χρήσεων, για τη χαρτογράφηση γαιών (Bedewa, 2017; Altdorff et al., 2020), για την εκτίμηση του ποσοστού εδαφικής υγρασίας (Mensah et al., 2023), για την εύρεση αρχαιοτήτων (Donati et al., 2021) και για την εκτίμηση του ποσοστού μόλυνσης του εδάφους από βαρέα μέταλλα (Yaccup and Brabham,, 2012), δεν βρέθηκε άλλη έρευνα που να χρησιμοποιεί το GEM-2 για τις ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις εδάφους σε ελαιώνα με σκοπό την τμηματοποίησή του. Βρέθηκαν όμως αρκετές άλλες έρευνες που χρησιμοποιούν άλλα εργαλεία μέτρησης για τον ίδιο σκοπό.

Παρόλο που βασικός σκοπός των Mensah et al. (2023) ήταν να εκτιμήσουν την υγρασία του εδάφους με ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους μέτρησης, οι συγγραφείς κατέληξαν σε ένα επιπλέον συμπέρασμα, στο ότι δηλαδή το GEM-2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τμηματοποίηση αγροτεμαχίων που έχουν διαφορετική χρήση (καλλιεργήσιμη έκταση, δασική έκταση, δρόμοι).

Σε έρευνα των Pedrera-Parrilla et al. το 2014, επιχειρήθηκε να συνδεθεί η μέτρηση της ECa με τις ιδιότητες του εδάφους σε ελαιώνα με δένδρα περιορισμένης ανάπτυξης στην περιοχή της Ανδαλουσίας στην Ισπανία. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ της ECa και διαφόρων ιδιοτήτων του εδάφους, όπως το ποσοστό εδαφικής υγρασίας (τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξηρά περίοδο) και το ποσοστό σε άργιλο.

Η μέτρηση της αλατότητας του εδάφους αποτελεί σημαντικό παράγοντα τμηματοποίησης ενός ελαιώνα, πόσο μάλλον όταν είναι αρδευόμενος. Οι Gharsallah et al. το 2022 χαρτογράφησαν την αλατότητα του εδάφους, σε διάφορα βάθη, με HME χρησιμοποιώντας το EM38 – MK2 (Geonics Ltd., Ontario, Canada) σε έναν ελαιώνα στην Τυνησία (χώρα που επικρατούν ίδιες κλιματικές συνθήκες με την Κρήτη κατά Köppen). Τα μεγαλύτερα ποσοστά αλατότητας βρέθηκαν στο επιφανειακό στρώμα του

εδάφους, εκεί όπου βρίσκονται οι σταλάκτες από τους σωλήνες άρδευσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής απέδειξαν ότι η χαρτογράφηση της αλατότητας του εδάφους με βάση τις μεθόδους ΗΜΕ και kriging είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση, η οποία επιτρέπει σε κάποιον να παρακολουθεί την αλατότητα του εδάφους σε μόνιμες καλλιέργειες (όπως η καλλιέργεια της ελιάς) σε ημίξηρες συνθήκες.

Οι Pedrera-Parrilla et al. σε έρευνά τους το 2016, μέτρησαν την ECa σε ελαιώνα σε δυο περιόδους (υγρή και ξηρή περίοδος) με σκοπό την τεκμηρίωση της σημαντικότητάς της για τη σχέση του ποσοστού αργίλου με το ποσοστό εδαφικής υγρασίας. Το εργαλείο μέτρησης της ECa που χρησιμοποίησαν ήταν ο αισθητήρας Dualem-21S (Dualem, Milton, Canada). Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν ότι τα δεδομένα της ECa που μετρήθηκαν υπό συνθήκες υγρού και ξηρού εδάφους παρουσιάζουν την ίδια υποκείμενη δομή χωρικής συσχέτισης, άρα η πλατφόρμα μέτρησης που χρησιμοποιείται παρέχει επαρκή σταθερότητα για τη λήψη σημαντικών μετρήσεων. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, το εύρημα αυτό κατέρριψε την παραδοχή ότι οι ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα ενώ επικρατούν υγρές συνθήκες στο έδαφος.

Η μέθοδος της ΗΜΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και για τον προσδιορισμό του ποσοστού οργανικού άνθρακα στο έδαφος και τις εκπομπές CO_2, όπως έδειξαν οι Lardo et al. σε έρευνά τους το 2016. Ο ελαιώνας που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις βρισκόταν στην Νότια Ιταλία, ενώ το εργαλείο μέτρησης της ΗΜΕ ήταν το Profiler EMP-400 (GSSI, Nashua, NH, USA). Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό, το Electrical conductivity Sampling, Assessment, and Prediction (ESAP). Τα αποτελέσματα της μέτρησης ΗΜΕ επιβεβαιώθηκαν και με εδαφολογικές μετρήσεις οργανικής ουσίας σε δείγματα που πάρθηκαν από τον ελαιώνα. Μάλιστα, η μέθοδος μέτρησης της εδαφικής οργανικής ουσίας ήταν η ίδια με της παρούσας έρευνας (Wakley and Black, 1934).

6.3 Περιορισμοί και δυνατά σημεία

Η παρούσα πειραματική μελέτη αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια τμηματοποίησης ελαιώνα με τη χρήση του GEM-2. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε συνάδει απόλυτα με άλλες μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας που έχουν

χρησιμοποιήσει άλλα εργαλεία επίγειας μέτρησης ηλεκτρομαγνητικών παραμέτρων.

Παρόλα τα δυνατά σημεία της μελέτης, υπήρχαν και κάποιοι περιορισμοί. Το γεγονός ότι πρόκειται για μια μελέτη στα πλαίσια ενός προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών, περιόρισε τους πόρους που μπορούσαν να διατεθούν, καθότι όλα έγιναν με ίδιους πόρους, για εργαστηριακές αναλύσεις. Έτσι έγινε περιορισμός στο μικρότερο δυνατό εδαφικό δείγμα (3) για να αντληθούν αντικειμενικά αποτελέσματα, καθώς και στη μετρούμενη έκταση του ελαιώνα με το GEM-2 (2.250 m^2). Επιπρόσθετα, η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά την υγρή περίοδο και δεν υπήρχαν επαναληπτικές μετρήσεις κατά την ξηρά περίοδο. Αυτό περιόρισε την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων για το σύνολο της περιόδου καλλιέργειας και τον έλεγχο του ενδεχόμενου αλλαγής των ζωνών διαχείρισης. Θα ήταν χρήσιμο σε επόμενη μελέτη ή την επέκταση της παρούσας να γίνει ο έλεγχος αυτός και να προχωρήσουμε και στο σχεδιασμό ενός πλάνου διαχείρισης και λίπανσης το οποίο μπορεί να ελεγχθεί πιλοτικά για την αποτελεσματικότητά του.

6.4 Εφαρμογές και προεκτάσεις

Η επιβεβαίωση της λειτουργικότητας της μεθόδου τμηματοποίησης ελαιώνα με τη χρήση του GEM-2 ανοίγει νέους δρόμους για την ενσωμάτωση τεχνικών ΓΑ στην ελαιοκαλλιέργεια, καθώς πρόκειται για μια οικονομική και εύκολη στη σχεδίαση και εκτέλεση μέθοδο.

Φυσικά υπάρχουν και περιθώρια βελτίωσης στη μεθοδολογία αυτή. Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να γίνει μια μελέτη follow up που να λάβει χώρα κατά την ξηρά περίοδο (από Ιούλιο έως Αύγουστο), ώστε να γίνει σύγκριση της ενδεχόμενης διαφοροποίησης της EC εντός του ελαιώνα με αυτή της υγρής περιόδου. Επιπροσθέτως, η χρήση UAV για την επισκόπηση του ελαιώνα από αέρος με σκοπό την παραγωγή δεικτών βλάστησης, θα μπορούσε να αποτελέσει άλλο ένα μέσο επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας.

Γενικότερα, η διαχείριση των εκτάσεων καλλιέργειας ελιάς, μέσω στοχευμένης προσέγγισης ως προς την τοποθεσία και την τμηματοποίηση, είναι μια ελκυστική και διαισθητική προσέγγιση για την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης λιπασμάτων με την προσαρμογή μεταβλητών δόσεων στο έδαφος και τη μεταβλητότητα των

καλλιεργειών (Serrano et al., 2019). Θεωρείται λοιπόν χρήσιμο να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες τα επόμενα χρόνια για να αξιολογηθούν αυτές οι ομοιογενείς ζώνες διαχείρισης και να κατανοηθεί καλύτερα η αγρονομική σημασία αυτής της ταξινόμησης. Αυτό όχι μόνο θα παρείχε τη συγχώνευση των δεδομένων για πολλαπλούς αισθητήρες ή πηγές, με την εξαγωγή συμπληρωματικών πληροφοριών, αλλά θα παρείχε επίσης την επέκταση μιας αναδυόμενης αγοράς για παρόχους τεχνολογικών υπηρεσιών για την υποστήριξη των αγροτών.

Τέτοιου είδους έρευνες αλλά ακόμα περισσότερο οι εφαρμογές που μπορούν να προκύψουν από αυτές, έχουν εκτεταμένες πρακτικές επιπτώσεις για διάφορους ενδιαφερόμενους, συμπεριλαμβανομένων των αγροτών, των διαχειριστών γης και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής (Córdoba et al., 2016). Για παράδειγμα, μπορεί να παρέχει πολύτιμες γνώσεις για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη χρήση γης, βοηθώντας στον εντοπισμό περιοχών εδάφους που είναι καταλληλότερες για συγκεκριμένες καλλιέργειες ή δραστηριότητες χρήσης γης. Επίσης, μπορεί να διευκολύνει την ανάπτυξη ακριβών μοντέλων πρόβλεψης των υδάτων του εδάφους, βοηθώντας στην αποτελεσματική διαχείριση της άρδευσης και στη διατήρηση του νερού. Παράλληλα, μπορεί να ενημερώσει τις στρατηγικές διαχείρισης του εδάφους, ιδιαίτερα τη ΓΑ με στοχευμένη και συγκεκριμένη εφαρμογή πόρων για κάθε τοποθεσία. Τέτοιες μέθοδοι επιτρέπουν την παρακολούθηση της ποιότητας του εδάφους και της γονιμότητας, επιτρέποντας στους καλλιεργητές να εφαρμόζουν κατάλληλες πρακτικές διαχείρισης του εδάφους για τη διατήρηση της υγείας και της παραγωγικότητάς του. Ευρήματα που προκύπτουν από ανάλογες μελέτες και εφαρμογές μπορούν να είναι ζωτικής σημασίας για την ενημέρωση των αποφάσεων πολιτικής που σχετίζονται με τη χρήση γης και τη διαχείριση του εδάφους. Διευκολύνουν επίσης τη ΓΑ, οδηγώντας σε βελτιστοποιημένη χρήση των πόρων, μείωση κόστους και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στο σύνολό της, η έρευνα τμηματοποίησης και χρήσης εφαρμογών GIS συμβάλλει σημαντικά στη βιώσιμη διαχείριση της γης, στην αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας και στη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ουδέν ατέκμαρτον ουδέν τυφλόν.

Πλούταρχος (47 – 120 μ.Χ.)

Η μεθοδολογία τμηματοποίησης ελαιώνα που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια ένταξης οικονομικών τεχνικών ΓΑ στην ελαιοκαλλιέργεια του Θραψανού Πεδιάδος. Κατά τη διάρκεια της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν μη καταστροφικές μέθοδοι χαρτογράφησης του εδάφους και τα δεδομένα που πάρθηκαν, διασταυρώθηκαν με εδαφολογικές αναλύσεις.

Με βάση τα αποτελέσματα διαφοροποίησης κάποιων θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, δικαιολογείται η διαχείριση του παρόντος ελαιώνα τμηματικά, όπως ακριβώς μετρήθηκε με βάση τη φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα από το GEM-2. Προκύπτει λοιπόν ότι η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μια αξιόπιστη παράμετρος για την τμηματοποίηση ενός ελαιώνα. Επειδή η μαγνητική επιδεκτικότητα στη παρούσα περίπτωση έλαβε εξαιρετικά μικρές τιμές, η πληροφορία δεν αξιοποιήθηκε περεταίρω, παρά μονάχα για να επιβεβαιωθούν οι ζώνες που προέκυψαν από την κατανομή της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων λίπανσης (κατά προτίμηση με υδρολίπανση) είναι πλέον εφικτή, καθώς και η μεταβλητή άρδευση, έπειτα από προσθήκη τενσιόμετρου σε αντιπροσωπευτικό σημείο εντός της κάθε ζώνης διαχείρισης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2023. Κλιματικά δεδομένα για το σταθμό Ηρακλείου Κρήτης. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://www.emy.gr/emy/el/climatology/climatology_city?perifereia=Crete&poli=Heraklion (Πρόσβαση στις 19/10/2023).

Κεραμίδας, Ζ.Β., 1989. *Σημειώσεις γονιμότητας εδαφών*. Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Σινάνης, Κ., 2015. *Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφολογίας*. ΣΕΑΒ, Αθήνα.

Συγγελάκης, Χ., 1982. *Ελαιόδεντρο: ελληνικές και ξένες ποικιλίες*. 6η έκδοση. Εκδόσεις Ελαιουργική.

Φουντάς, Σ., και Γέμτος, Θ., 2016. *Γεωργία ακριβείας* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Abdulwaheed, A., 2019. Benefits of precision agriculture in Nigeria. London Journal of Research of Engineering Research.

Adams, F., 1980. Interactions of phosphorus with other elements in soils and in plants. *The role of phosphorus in agriculture*, pp.655-680.

Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R. and Sousa, J.J., 2017. Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. *Remote sensing*, *9*(11), p.1110.

Ahire, D.V., Chaudhari, P.R., Ahire, V.D. and Patil, A.A., 2013. Correlations of electrical conductivity and dielectric constant with physico-chemical properties of black soils. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *3*(2), pp.1-16.

Al-Gaadi, K.A., Hassaballa, A.A., Tola, E., Kayad, A.G., Madugundu, R., Alblewi, B. and Assiri, F., 2016. Prediction of potato crop yield using precision agriculture techniques. PloS one, 11(9), p.e0162219.

Altdorff, D., Sadatcharam, K., Unc, A., Krishnapillai, M. and Galagedara, L., 2020. Comparison of multi-frequency and multi-coil electromagnetic induction (EMI) for mapping properties in shallow Podsolic soils. *Sensors*, *20*(8), p.2330.

Asseng, S. and Asche, F., 2019. Future farms without farmers. Science Robotics, 4(27),

p.eaaw1875.

Avola, G., Di Gennaro, S.F., Cantini, C., Riggi, E., Muratore, F., Tornambè, C. and Matese, A., 2019. Remotely sensed vegetation indices to discriminate field-grown olive cultivars. *Remote Sensing*, *11*(10), p.1242.

Badewa, E.A., 2017. *Apparent Electrical Conductivity Mapping in managed Podzols using Multi-coil and Multi-frequency EMI sensor measurements* (Doctoral dissertation, Memorial University of Newfoundland).

Basso, B., Dobrowolski, J. and McKay, C., 2017. From the dust bowl to drones to big data: the next revolution in agriculture. Geo. J. Int'l Aff., 18, p.158.

Berger, K.C. and Truog, E., 1939. Boron determination in soils and plants. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, *11*(10), pp.540-545.

Berra, E.F., Gaulton, R. and Barr, S., 2017. Commercial off-the-shelf digital cameras on unmanned aerial vehicles for multitemporal monitoring of vegetation reflectance and NDVI. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, *55*(9), pp.4878-4886.

Blum, M., Lensky, I.M., Rempoulakis, P. and Nestel, D., 2015. Modeling insect population fluctuations with satellite land surface temperature. *Ecological Modelling*, *311*, pp.39-47.

Bollas, N., Kokinou, E. and Polychronos, V., 2021. Comparison of sentinel-2 and UAV multispectral data for use in precision agriculture: An application from northern Greece. *Drones*, *5*(2), p.35.

Bongiovanni, R. and Lowenberg-DeBoer, J., 2004. Precision agriculture and sustainability. Precision agriculture, 5, pp.359-387.

Bottomley, P.J., Angle, J.S. and Weaver, R.W. eds., 2020. Methods of soil analysis, Part 2: Microbiological and biochemical properties (Vol. 12). John Wiley & Sons.

Bouma, J., 2007, September. Precision agriculture: introduction to the spatial and temporal variability of environmental quality. In Ciba Foundation Symposium 210-Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality: Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality: Ciba Foundation Symposium 210 (pp. 5-17). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.

Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal, 54(5), pp.464-465.

Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen. Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties, 9, pp.1149-1178.

Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1983. Nitrogen—total. Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties, 9, pp.595-624.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A. and Lloyd, C.D., 2015. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, USA.

Calderón, R., Navas-Cortés, J.A., Lucena, C. and Zarco-Tejada, P.J., 2013. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, *139*, pp.231-245. Campbell, J.B. and Wynne, R.H., 2002. Introduction to remote sensing. New York.

Cambouris, A.N., Zebarth, B.J., Ziadi, N. and Perron, I., 2014. Precision agriculture in potato production. Potato Research, 57, pp.249-262.

Canales, J., 2018. Navigating the history of GPS.

Caruso, G., Palai, G., Marra, F.P. and Caruso, T., 2021. High-resolution UAV imagery for field olive (Olea europaea L.) phenotyping. *Horticulturae*, *7*(8), p.258.

Colomina, I. and Molina, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, *92*, pp.79-97.

Córdoba, M.A., Bruno, C.I., Costa, J.L., Peralta, N.R. and Balzarini, M.G., 2016. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. Biosystems engineering, 143, pp.95-107.

Dalan, R.A., 2006. Magnetic susceptibility. *Remote sensing in archaeology: An explicitly North American perspective*, pp.161-203.

DeLay, N.D., Thompson, N.M. and Mintert, J.R., 2022. Precision agriculture technology adoption and technical efficiency. *Journal of Agricultural Economics*, *73*(1), pp.195-219.

Donati, J.C., Sarris, A., Papadopoulos, N., Kalayci, T., Simon, F.X., Manataki, M., Moffat, I. and Cuenca-García, C., 2021. A regional approach to ancient urban

studies in Greece through multi-settlement geophysical survey.

du Plessis, E., Workneh, T. and Laing, M., 2015. Greenhouse cooling systems and models for arid climate. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 18*, pp.181-215.

Dualem specifications. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://dualem.com/products/#2S (Πρόσβαση στις 2/12/2023).

EM38-MK2 Specifications. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.geonics.com/html/em38.html (Πρόσβαση στις 2/12/2023).

Escobar, F., Hunter, G., Bishop, I. and Zerger, A., 2008. Introduction to GIS. Department of Geomatics, The University of Melbourne, Available online at: http://www. sli. unimelb. edu. au/gisweb/(Accessed 02 April 2008).

Flores, K.O., Butaslac, I.M., Gonzales, J.E.M., Dumlao, S.M.G. and Reyes, R.S., 2016, November. Precision agriculture monitoring system using wireless sensor network and Raspberry Pi local server. In 2016 IEEE region 10 conference (TENCON) (pp. 3018-3021). IEEE.

Gelian, S., Maohua, W., Xiao, Y., Rui, Y. and Binyun, Z., 2012. On precision agriculture knowledge presentation with ontology AASRI Conference on Modeling. Identification and Control, 3, pp.732-738.

GEM-2 Specifications. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://geophex.com/Product_GEM2_handheld.htm (Πρόσβαση στις 26/9/2023).

Gharsallah, M.E., Aichi, H., Stambouli, T., Rabah, Z.B. and Hassine, H.B., 2022. Assessment and mapping of soil salinity using electromagnetic induction and Landsat 8 OLI remote sensing data in an irrigated olive orchard under semi-arid conditions. *Soil and Water Research*, *17*(1), pp.15-28.

Gómez-Gálvez, F.J., Pérez-Mohedano, D., de la Rosa-Navarro, R. and Belaj, A., 2021. High-throughput analysis of the canopy traits in the worldwide olive germplasm bank of Córdoba using very high-resolution imagery acquired from unmanned aerial vehicle (UAV). *Scientia Horticulturae*, *278*, p.109851.

Goswami, S.B., Matin, S., Saxena, A. and Bairagi, G.D., 2012. A review: the application of remote sensing, GIS and GPS in precision agriculture. *Journal of Advanced Technology and Engineering Research*, *2*, pp.50-54.

Grisso, R.D., Alley, M.M., Holshouser, D.L. and Thomason, W.E., 2005. Precision farming tools. soil electrical conductivity.

Gucci, R., Caruso, G., Canale, A., Loni, A., Raspi, A., Urbani, S., Taticchi, A., Esposto, S. and Servili, M., 2012. Qualitative changes of olive oils obtained from fruits damaged by Bactrocera oleae (Rossi). *HortScience*, *47*(2), pp.301-306.

Gupta, S.K., 1975. The extraction and determination of plant-available boron in soils. *Schweizerische landwirtschaftliche forschung*, *14*, pp.153-169.

Hanlon, E.A., 2009. Soil pH and electrical conductivity: A county extension soil laboratory manual.

Huang, Y., Chen, Z.X., Tao, Y.U., Huang, X.Z. and Gu, X.F., 2018. Agricultural remote sensing big data: Management and applications. Journal of Integrative Agriculture, 17(9), pp.1915-1931.

IOC, 2023. Olive oil production. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2022/12/IOC-Olive-Oil-Dashboard-2.html#production-1 (Πρόσβαση στις 26/9/2023).

Jackson, M.L., 1958. Soil Chemical Analysis Englewood Cliffs. NT Prentice Hall Inc.

Jones, H.G. and Vaughan, R.A., 2010. *Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications*. Oxford University Press, USA.

Kabir, M., Myat Swe, K., Kim, Y.J., Chung, S.O., Jeong, D.U. and Lee, S.H., 2018, June. Sensor comparison for yield monitoring systems of small-sized potato harvesters. In 14th International conference on precision agriculture.

Kent Shannon, D., Clay, D.E. and Sudduth, K.A., 2018. An introduction to precision agriculture. Precision agriculture basics, pp.1-12.

Keren, R., 1996. Boron. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, *5*, pp.603-626.

Kingra, P.K., Majumder, D. and Singh, S.P., 2016. Application of remote sensing and GIS in agriculture and natural resource management under changing climatic conditions. Agricultural Research Journal, 53(3).

Kirk, P.L., 1950. Kjeldahl method for total nitrogen. Analytical chemistry, 22(2), pp.354-358.

Kjeldahl, J.G.C.T., 1883. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie*, *22*(1), pp.366-382.

Kostelenos, G. and Kiritsakis, A., 2017. Olive tree history and evolution. Olives and olive oil as functional foods: bioactivity, chemistry and processing, pp.1-12.

Koutsos, T. and Menexes, G., 2019. Economic, agronomic, and environmental benefits from the adoption of precision agriculture technologies: A systematic review. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, *10(1)*, pp.40-56.

Lardo, E., Arous, A., Palese, A.M., Nuzzo, V. and Celano, G., 2016. Electromagnetic induction: A support tool for the evaluation of soil CO2 emissions and soil organic carbon content in olive orchards under semi-arid conditions. *Geoderma*, *264*, pp.188-194.

Li, Y., Shi, Z., Wang, R.C. and Makeschin, F. 2007. Delineation of site-specific management zones based on temporal and spatial variability of soil electrical conductivity. Pedosphere, 17(2):156–164

Lindsay, W.L. and Norvell, W., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil science society of America journal, 42(3), pp.421-428.

Liphschitz, N., Gophna, R., Hartman, M. and Biger, G., 1991. The beginning of olive (Olea europaea) cultivation in the Old World: a reassessment. Journal of Archaeological Science, 18(4), pp.441-453.

Maes, W.H. and Steppe, K., 2019. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. Trends in plant science, 24(2), pp.152-164.

Markoski, M., Arsov, S., Mitkova, T. and Janeska-Stamenkovska, I., 2015. The benefit GIS technologies and precision agriculture principles in soil nutrient management for agricultural crop production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21 (No 3) 2015, 554-559 Agricultural Academy*.

Martínez, G., Laguna, A.M., Giráldez, J.V. and Vanderlinden, K., 2021. Concurrent variability of soil moisture and apparent electrical conductivity in the proximity of olive trees. *Agricultural Water Management*, *245*, p.106652.

Maselli, F., Chiesi, M., Brilli, L. and Moriondo, M., 2012. Simulation of olive fruit

yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data. *Ecological Modelling, 244*, pp.1-12.

Mazur, M., Wisniewski, A. and McMillan, J., 2016. Clarity from above: PwC global report on the commercial applications of drone technology. *Warsaw: Drone Powered Solutions, PriceWater house Coopers*.

Mc Lean, E.O. and Watson, M.E., 1985. Soil measurements of plant-available potassium. Potassium in agriculture, pp.277-308.

Mensah, C., Katanda, Y., Krishnapillai, M., Cheema, M. and Galagedara, L., 2023. Estimation of soil water content using electromagnetic induction sensors under different land uses. Environmental Research Communications, 5(8), p.085002.

Messina, G. and Modica, G., 2022. The role of remote sensing in olive growing farm management: a research outlook from 2000 to the present in the framework of precision agriculture applications. *Remote Sensing*, *14*(23), p.5951.

Mukherjee, A., Misra, S. and Raghuwanshi, N.S., 2019. A survey of unmanned aerial sensing solutions in precision agriculture. Journal of Network and Computer Applications, 148, p.102461.

Mulvaney, R. L., 1996. 'Nitrogen – Inorganic forms', in Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A. and Loeppert, R.H. (eds.), *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods* (Vol. 14). John Wiley & Sons. pp. 1123 – 1184.

Murphy, J. and Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica chimica acta, 27, pp.31-36.

Ncube, B., Mupangwa, W. and French, A., 2018. Precision agriculture and food security in Africa. *Systems analysis approach for complex global challenges*, pp.159-178.

Nijland, W., De Jong, R., De Jong, S.M., Wulder, M.A., Bater, C.W. and Coops, N.C., 2014. Monitoring plant condition and phenology using infrared sensitive consumer grade digital cameras. *Agricultural and Forest Meteorology, 184*, pp.98-106.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus by extraction with sodium bicarbonate (Circular 39). Washington DC: USDA.

Parker, D.R. and Gardner, E.H., 1981. The determination of hot-water-soluble boron in some acid Oregon soils using a modified azomethine-H procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *12*(12), pp.1311-1322.

Pedrera-Parrilla, A., Martínez, G., Espejo-Pérez, A.J., Gómez, J.A., Giráldez, J.V. and Vanderlinden, K., 2014. Mapping impaired olive tree development using electromagnetic induction surveys. *Plant and soil*, *384*, pp.381-400.

Pedrera-Parrilla, A., Van De Vijver, E., Van Meirvenne, M., Espejo-Pérez, A.J., Giráldez, J.V. and Vanderlinden, K., 2016. Apparent electrical conductivity measurements in an olive orchard under wet and dry soil conditions: significance for clay and soil water content mapping. *Precision Agriculture*, *17*, pp.531-545.

Ping, Q. and Yelu, Z., 2006. Study and application of agricultural ontology. China Agricultural Science and Technology Publishing House, Beijing.

Pinter Jr, P.J., Hatfield, J.L., Schepers, J.S., Barnes, E.M., Moran, M.S., Daughtry, C.S. and Upchurch, D.R., 2003. Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *69*(6), pp.647-664.

Rich, C.I., 1965. Elemental analysis by flame photometry. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, pp.849-865.

Robertson, M., Carberry, P. and Brennan, L., 2007. The economic benefits of precision agriculture: case studies from Australian grain farms. Crop Pasture Sci, 60, p.2012.

Rodrigues, G.C., 2022. Precision agriculture: Strategies and technology adoption. Agriculture, 12(9), p.1474.

Roma, E., Laudicina, V.A., Vallone, M. and Catania, P., 2023. Application of Precision Agriculture for the Sustainable Management of Fertilization in Olive Groves. Agronomy, 13(2), p.324.

Rossel, R.A.V. and Bouma, J., 2016. Soil sensing: A new paradigm for agriculture. *Agricultural systems*, *148*, pp.71-74.

Running, S.W. and Hunt Jr, E.R., 1993. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BCG, and an application for global-scale

models.

Saiz-Rubio, V. and Rovira-Más, F., 2020. From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, *10*(2), p.207.

Sangeetha, S., Ganesan, R., Indumathy, K. and Jai Sridar, P., 2013. Exploring the extent of adoption of precision farming technologies in tomato cultivation. Indian J Agric Res, 47(2), pp.178-182.

Sarabia, R., Aquino, A., Ponce, J.M., López, G. and Andújar, J.M., 2020. Automated identification of crop tree crowns from uav multispectral imagery by means of morphological image analysis. *Remote Sensing*, *12*(5), p.748.

Segarra, J., Buchaillot, M.L., Araus, J.L. and Kefauver, S.C., 2020. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy*, *10*(5), p.641.

Serrano, J., Shahidian, S., Marques da Silva, J., Paixão, L., Calado, J. and Carvalho, M.D., 2019. Integration of soil electrical conductivity and indices obtained through satellite imagery for differential management of pasture fertilization. AgriEngineering, 1(4), pp.567-585.

Shi, Y., Thomasson, J.A., Murray, S.C., Pugh, N.A., Rooney, W.L., Shafian, S., Rajan, N., Rouze, G., Morgan, C.L., Neely, H.L. and Rana, A., 2016. Unmanned aerial vehicles for high-throughput phenotyping and agronomic research. *PloS one*, *11*(7), p.e0159781.

Singh, J. ed., 2013. *Precision farming in horticulture*. New India Publishing Agency.

Singh, K.K. and Frazier, A.E., 2018. A meta-analysis and review of unmanned aircraft system (UAS) imagery for terrestrial applications. *International Journal of Remote Sensing*, *39*(15-16), pp.5078-5098.

Sishodia, R.P., Ray, R.L. and Singh, S.K., 2020. Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. Remote Sensing, 12(19), p.3136.

Sood, K., Singh, S., Rana, R.S., Rana, A., Kalia, V. and Kaushal, A., 2015, October. Application of GIS in precision agriculture. In Paper presented as lead lecture in national seminar on "Precision farming technologies for high Himalayas (pp. 04-05).

Strickland, R.M., Ess, D.R. and Parsons, S.D., 1998. Precision farming and precision

pest management: the power of new crop production technologies. Journal of Nematology, 30(4), p.431.

Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Wiebold, W.J., Batchelor, W.D., Bollero, G.A., Bullock, D.G., Clay, D.E., Palm, H.L., Pierce, F.J., Schuler, R.T. and Thelen, K.D., 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and electronics in agriculture*, *46*(1-3), pp.263-283.

Torres-Sánchez, J., de la Rosa, R., León, L., Jimenez-Brenes, F.M., Kharrat, A. and Lopez-Granados, F., 2022. Quantification of dwarfing effect of different rootstocks in 'Picual'olive cultivar using UAV-photogrammetry. *Precision Agriculture*, *23*(1), pp.178-193.

Trimble Zephyer 3 GIS. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/trimble-zephyr-3-gis (Πρόσβαση στις 18/10/2023).

United States Department of Agiculture (USDA). Natural Resources Conservation Service. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.nrcs.usda.gov/ (Πρόσβαση στις 18/11/2023).

Van Evert, F.K., Gaitán-Cremaschi, D., Fountas, S. and Kempenaar, C., 2017. Can precision agriculture increase the profitability and sustainability of the production of potatoes and olives? *Sustainability*, *9*(10), p.1863.

Veroustraete, F., Sabbe, H. and Eerens, H., 2002. Estimation of carbon mass fluxes over Europe using the C-Fix model and Euroflux data. *Remote sensing of environment*, *83*(3), pp.376-399.

Wakley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the Degtiareff methods for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. Soil Sci, 37, pp.29-38.

Watanabe, F.S. and Olsen, S.R., 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. Soil Science Society of America Journal, 29(6), pp.677-678.

Yaccup, R. and Brabham, P., 2012. Ground Electromagnetic Survey (GEM-2) technique to map the hydrocarbon contaminant dispersion in the subsurface at Barry Docks, Wales, UK.

Yang, G., Liu, J., Zhao, C., Li, Z., Huang, Y., Yu, H., Xu, B., Yang, X., Zhu, D., Zhang, X. and Zhang, R., 2017. Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: current status and perspectives. *Frontiers in plant science*, *8*, p.1111.

Yin, H., Cao, Y., Marelli, B., Zeng, X., Mason, A.J. and Cao, C., 2021. Soil sensors and plant wearables for smart and precision agriculture. *Advanced Materials*, *33*(20), p.2007764.

Zarco-Tejada, P.J., Camino, C., Beck, P.S.A., Calderon, R., Hornero, A., Hernández-Clemente, R., Kattenborn, T., Montes-Borrego, M., Susca, L., Morelli, M. and Gonzalez-Dugo, V., 2018. Previsual symptoms of Xylella fastidiosa infection revealed in spectral plant-trait alterations. *Nature Plants*, *4*(7), pp.432-439.

Zhang, C. and Kovacs, J.M., 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision agriculture*, *13*, pp.693-712.

Zude-Sasse, M., Fountas, S., Gemtos, T.A. and Abu-Khalaf, N., 2016. Applications of precision agriculture in horticultural crops.